

工業技術研究報告書

Report of the Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture No.41 2011

No. 41 平成 23 年度



新潟県

新潟県工業技術総合研究所

Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture

〒950-0915 新潟県新潟市中央区鏡西 1-11-1
1-11-1 Abumi-nishi, Chuo Ward, Niigata City, Niigata 950-0915, Japan

平成 24 年 6 月

目 次

I 研究論文

1. RFID 測位センサーネットワークノードの開発に関する研究 3
2. 窒素含有汎用クロム系ステンレス鋼の実用化研究 14
3. ICT を活用した遠隔技能伝承アシストシステムに
関する研究開発 (第 2 報) 22
4. インコネル 718 に対するボールエンドミル加工の
切削シミュレーション (第 2 報) 31
5. 木材の新たな利用分野を開拓するためのプレス加工技術の開発 37

II ノート

1. 超微細成形技術によるシート型微小針アレイの開発 (第 2 報) 45
2. 未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発 49
3. 省エネ型植物工場に向けた基盤技術の開発 52
4. セルロース材料を効率よく熱分解する触媒組成の探索 55
5. 樹脂の熱特性分析の基礎技術確立 58
6. カプセル化技術を応用した新しいスペック染色法の開発 60
7. LED 光源の演色性評価 63
8. 光沢部材・非光沢部材の反射率角度依存性評価 66
9. メッキ皮膜の作成と評価 68
10. ヘキサンをを用いたクロメート廃液中の油分抽出法 71
11. ねじ締結体の振動試験 74

Ⅲ 調査・報告

1. 植物工場研究会報告	81
2. 航空宇宙分野調査報告	84
3. 太陽光発電研究会報告	87
4. EV 技術研究会報告	91
5. 小水力発電研究会報告	94
6. 質感エンジニアリング研究会報告	98
7. 表面技術研究会報告	101
8. CFRP 研究会報告	104
9. 天然素材活用研究会報告	107
10. 高信頼制御技術研究会報告	110
11. 素形材研究会報告	113
12. ナノテク機器利用技術講習会	115
13. 上信越公設研ネット環境対応技術分野交流会報告	118

※ 平成 23 年度に実施した研究 90 テーマのうち、研究成果を公表できるものを報告しています。

I 研究論文

RFID 測位センサーネットワークノードの 開発に関する研究

坂井 朋之* 五十嵐 晃* 江口 和也* 坂井 修*
山田 敏浩* 菅野 明宏* 星野 公明** 石井 啓貴**
西村 俊治*** 石月 斗志宏*** 吉田 好文***

Research for Development of Positioning Sensor Network Node with RFID

SAKAI Tomoyuki*, IKARASHI Akira*, EGUCHI Kazuya*, SAKAI Osamu*,
YAMADA Toshihiro*, KANNO Akihiro*, HOSHINO Kimiaki**, ISHII Hiroataka**,
NISHIMURA Toshiharu***, ISHIZUKI Toshihiro*** and YOSHIDA Yoshifumi***

抄 録

工作機械や産業機械メーカー等において、生産性向上や、受発注管理のために、各社とも工程管理ソフトを導入して、コスト低減の実現を進めている。しかし、汎用ソフトでは、作業員の勤務状況の入力を人手で行う必要があり、煩雑である。そこで、本研究では、作業員の動態状況を把握し自動で入力できるシステムの開発を目的とする。近距離動態管理システムのセンシング用通信ユニットには、通信規格として、IEEE802.15.4を採用し、電界強度をもとに、位置範囲を特定する測位アルゴリズムを開発した。さらに、そのアルゴリズムを組み込み、実際に動態管理が可能なシステムのプロトタイプを開発した。また、当該システムの多様な現場への応用を可能とするため、指向特性の異なる平面アンテナを設計し、その評価を行った。今後、当該開発システムの位置管理機能を核として、生産現場のみならず、様々な場面への応用を想定している。

1. 緒 言

工作機械や産業機械メーカーの生産形態は一品一様生産である。生産性向上や、受発注管理のためには、生産の進捗に応じた部材の適正調達や作業員の適正配置が不可欠であり、各社とも工程管理ソフトを導入して、その対策、およびコスト低減の実現を進めている。しかし、汎用ソフトでは、作業員の勤務状況の入力を人手で行う必要があり、そのための工数が増加する等矛盾した状況になっている。

そこで、作業員の動態状況を把握し自動で入力できるシステムを構築し、汎用の生産管理ソ

フトにアドオンできるシステムの開発を目的とする。

研究開発項目は、以下の3つである。

- ① 通信方式、通信ユニットの選定と、測位アルゴリズムの開発
- ② 使用環境に応じたアンテナの開発
- ③ 全体システムの開発

また、本研究では、開発したプロトタイプを将来のユーザーに対して、無償で使用していただくことを想定しているため、公共の場面において、電波を発射できるよう、使用する通信ユニットについては、技術基準適合証明の技術的手続きおよび事務手続きも行った。

以下に各項目について詳細を述べる。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

*** 株式会社ジェイシーエム

2. 通信ユニットの選定と測位アルゴリズムの開発

2.1 通信ユニットの選定

本共同研究の無線通信による高精度近距離測位システムは主に屋内での使用を前提としている。ここでいう『高精度』とは、測位対象物の管理のための位置特定や位置推定を実現するのに十分な精度であると定義し、同様に『近距離』とは 10m 以内と定義した。また、屋内での電波伝播は、直接波、透過波、反射波が複雑に干渉しあうマルチパス干渉環境となるため、連続的な値ではなく、離散的な相対値を基に伝搬環境特性をモデル化する。本共同研究の無線通信による測位は、タグ（測位対象点）から送信された電波をカンバン（測位基準点）で受信した時の受信電力の計測値を利用して行う。受信電力の計測方法としては RSSI（受信信号強度）を使用する方法と LQI（リンク品質値）を使用する方法とがある。RSSI は受信信号強度(%) = (受信 RSSI / 最大 RSSI) × 100 で算出され絶対値として示されるのに対し、LQI は復調後の符号誤り割合を示し受信信号強度と変調方式に依存する相対的な回線品質を示す。本共同研究では相対的な計測値に主眼をおくため LQI 値の計測機能を有する通信ユニットを選定する方針とした。技術仕様を表 1 に示す。

表 1 通信ユニットの技術仕様

項目	仕様概要
周波数帯	2.4GHz帯もしくは950MHz帯
送信方式	直接拡散もしくは狭帯域変調
送信出力	-30dBm以下もしくは通信距離5mの地点での受信電力が-80dBm以下となる設定が可能なこと、また、送信出力の可変が可能なこと
通信規格	IEEE 802.11b もしくは IEEE 802.15.4 もしくは独自方式
ネットワーク機能	自動接続によりクラスツリー型の構成が可能なこと
受信感度	~-80dBm
インタフェース	UART 1chを有すること
電源	乾電池もしくはボタン電池で動作すること

2.2 測位アルゴリズムの開発

2.2.1 基礎実験

実際の工場における場所や位置の管理は円形の領域では行わず矩形や正方形の領域を組合せ

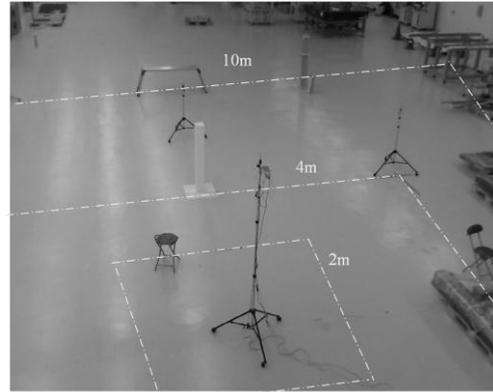


図 1 同心正方形による位置管理



図 2 実験に使用した通信ユニット

た格子状の領域単位で管理している。このため本共同研究における測位とは基準点から連続的に同心円状の位置距離を計測するのではなく、基準点から管理対象が属する正方形の位置領域までの概距離を計測することで位置を特定することと定義した。

具体的には『近距離』要件より一辺 10m 以下の一定の大きさを有する正方形の管理対象領域を、中心は同一で、辺の長さが異なる複数の正方形（以下、同心正方形と記述する）のサブ領域に分割し、管理対象領域の中心に設置されたカンバン（測位基準点）からタグ（測位対象点）を走査し、そのタグが属している同心正方形サブ領域を特定する（図 1）。

計測は出力低減済み通信ユニット SD タイプを使用した（図 2）。送信出力は最小出力の -16.6dBm に設定した。距離 4.0m 地上高 1.5m 対向時の LQI 受信電力換算値は -77.1 dBm で標準仕様の -44.1dBm から約 30dB 低

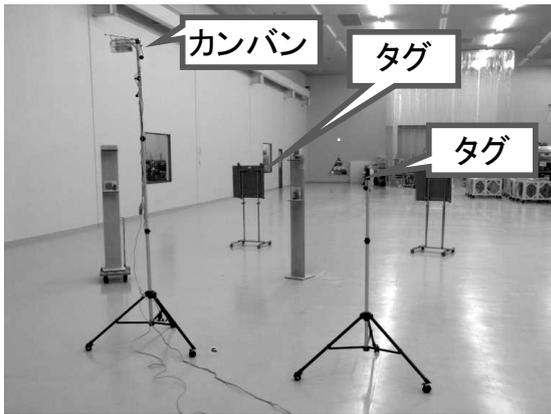


図3 実験場の様子

減している。カンバン（測位基準点）側は等方性を確保できる方向で設置し、タグ（測位対象点）側は双指向性となる方向で設置し指向性による変動を無視せずに計測を行った。図3に実験場の様子を示す。

2m, 4m, 10m の同心正方形の領域を設定し各々の正方形の辺上を図4に示すように任意の速度（静止～徒歩）で任意の方向に直線

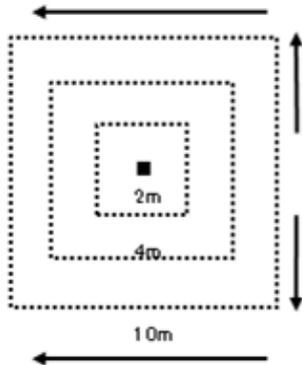


図4 実験時の移動経路

移動した。また、その際計測された、LQIの基本統計量を表2に示す。同心正方形の辺上

表2 領域内側移動実験時の基本統計量

		(単位: dBm)		
		2m辺上	4m辺上	10m辺上
LQI	平均	-68.06	-73.06	-76.03
	標準偏差	0.99	0.96	0.64
	中央値	-67.92	-72.23	-75
	最頻値	-60.85	-79.92	-79.92
送信電力換算	標準偏差	8.48	8.22	5.51
	分散	71.83	67.54	30.32
標本数		73	73	73

を直線移動した場合でも測位基準点からの距離が遠くなるにつれて分散が小さくなることが確認できる。LQIの相対度数分布を近似式で表すと、距離毎に度数分布が異なることが確認できるためこの特性を利用して位置判別が可能なのではないかという仮説を得た。

2.3 モデルの生成

本共同研究では基礎実験の結果に基づき、距離の判別は基準点からの位置領域ごとのLQI分散の変化のみを変量として使用する。目的システムの適用環境に対応した同心正方形の位置領域ごとのLQI分散モデルを作成し、測位基準点で観測されたLQI分散と照合することにより位置領域を特定することを試みた。

モデルとの照合は判別分析法(Discriminant analysis)を用いて行う。判別分析法とはある程度重複する部分を持ついくつかの母集団の群データに基づき、新しい標本が得られたときこの標本がどの群に属するかを判定・予測する手法である。具体的には、個々のデータと群の汎距離を計算し判別する方法を採用した。モデルとして計測したLQIデータA群および、B群があり各々のLQIの平均値に対し、新しく観測されたデータXの値を各群の平均値との隔たりの大小で判別しようとしても各群の分散が異なるため正しく分類できない(図5)。ここで、各モデルデータ群の相対度数分布を母集団分布と同じ確率分布とみなし、母平均を μ_A , μ_B 母分散

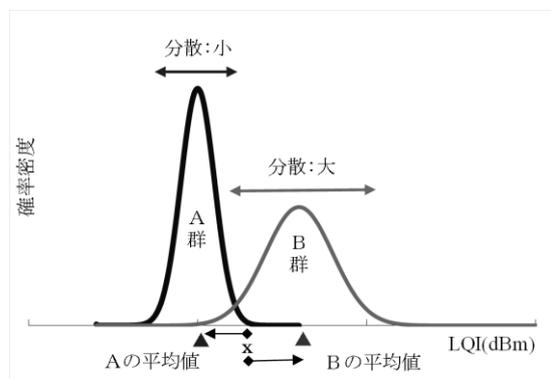


図5 計測データと平均値の隔たりの例

を σ_A^2 , σ_B^2 とし、観測されたデータ X と各母平均との隔たりを分散で標準化した汎距離を求める。

$$D_A = \sqrt{\frac{(X - \mu_A)^2}{\sigma_A^2}}, \quad D_B = \sqrt{\frac{(X - \mu_B)^2}{\sigma_B^2}}$$

このときの判別方法は、

$$D_A - D_B \leq 0 \Rightarrow \text{群Aに属する}$$

$$D_A - D_B > 0 \Rightarrow \text{群Bに属する}$$

となる。¹⁾

実際のモデル用計測データの例を表 3 に示す。表中の『1m内』が群 A, 『2m内』が群 B を表

表 3 モデル用計測データの例

基準地点	1m内	2m内
平均	-75.17	-77.50
標準偏差	5.434087	5.839164

表 4 モデルデータによる判別分析

群A (1m内)	$D_A - D_B$	判別
群B (2m内)		
観測値X -78.20	0.419664	>0 (群B)

し、平均および分散が各々群の母平均と母分散を表す。いま真値=3mの観測値 -78.20 dBm が得られたとする。汎距離を計算すると判別式は非負となり群 A と群 B の群間判別においては群 B に属すると判定できる (表 4)。この結果から 2 群の判別を各群間で繰り返すことによって処理が可能であると判断した。

その後、このアルゴリズムをもとにして、複数のキャンパへの展開を図り、最終的に、計測ソフトウェアを作成した。

なお、基礎実験においては、当初、通信ユニットとして SD タイプを使用した。将来の製品化を視野に入れるために、製品化候補として、通信ユニット (TI 社 評価開発キット CC2530ZDK-ZNP-MINI : 以下 CC2530ZDK) を使用してモデルデータの取得と判別分析による

位置領域判別についての検証も行った。その結果、SD タイプと同様の結果が得られている。

3. 使用環境に適したアンテナの開発

3.1 目的

本共同研究で開発する近距離動態管理システムは、様々な作業環境において利用されることを想定しているため、送受信アンテナの特性は、利得や指向性において、様々なバリエーションでの実証が求められている。あわせて、この近距離動態管理システムは、将来的には複数回書き換え可能なリライタブルシートへの実装を視野に入れている。

したがって当研究所では、CC2530ZDK に接続可能な小型平面アンテナを 2 種類試作開発し評価を行うこととした。

3.2 電磁界シミュレーション

電磁界シミュレーションとは、マクスウェル方程式を演算することにより、対象物と電磁場の相互作用の解析を行うためのツールである。アンテナ開発においては、電磁界シミュレーションソフト上に仮想的にアンテナモデルを構築し、材料パラメータを設定し、マクスウェル方程式を演算し、アンテナ性能を記述する上で重要な反射特性や指向特性を計算機上で演算を行い、目標とするアンテナ仕様に近いアンテナの設計を行うことで、アンテナ設計、試作、測定評価のプロセス工数の低減に寄与することができる。

本共同研究プロジェクトでは、CC2530ZDK に実装するアンテナ開発・設計を行うためのツールとして、電磁界シミュレーションソフト (Agilent Technologies 社製「ADS Momentum」) を導入した。「ADS Momentum」は、平面構造を基本として限定された 3 次元 (2.5 次元) 構造用の電磁界シミュレーションソフトである。解析エンジンは、モーメント法を採用している。

3.3 八木・宇田アンテナの設計

八木・宇田アンテナは、特定方向の電磁波の位相をそろえて指向性を鋭くしたアンテナである。アンテナ設計に設計条件は、使用するCC2530ZDKの技術仕様、アンテナ加工条件等の制約から、表5のとおりとした。

上記条件にもとづいて設計したアンテナイメージを図6に示す。

表5 八木・宇田アンテナの設計条件

設計項目	設計仕様	
中心周波数	2.45 GHz	
基板	素材	FR-4 (ガラスエポキシ)
	板厚	0.3mm
入力インピーダンス	中心周波数において50Ω	
素子	4素子 (導波器2素子、放射器・導波器1素子)	

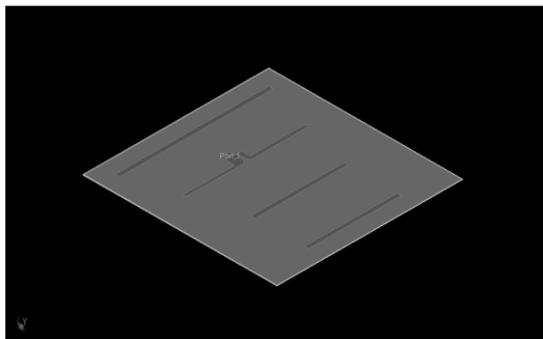


図6 八木・宇田アンテナの設計イメージ

なお、本アンテナ設計においては、実装するCC2530ZDKの仕様上、入力インピーダンスを50Ωに設計する必要がある。そのため、アンテナレイアウトの設計において放射器エレメントと導波器、反射器エレメントの間隔を変化させることで、それを実現した。

シミュレーション評価結果として、リターンロス特性、VSWR（定在波比）、スミスチャート、指向性パターンをそれぞれ、図7、8、9、10に示す。

リターンロスは、アンテナの特性を表す重要な指標であり、図7から、共振周波数は2.453GHzとなったことがわかる。

VSWRは、一般的に2.0以下に設計する必要があると言われているが、図8に示すように、

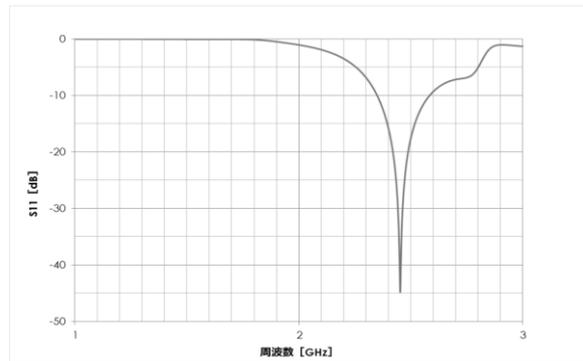


図7 八木・宇田アンテナリターンロス特性

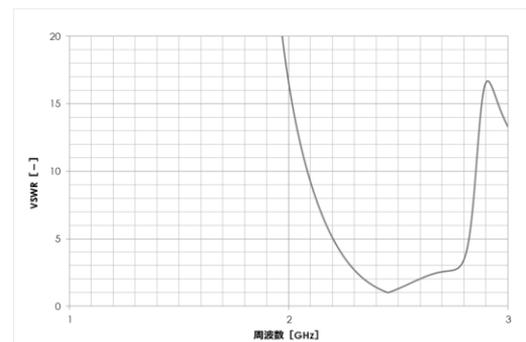


図8 八木・宇田アンテナ VSWR

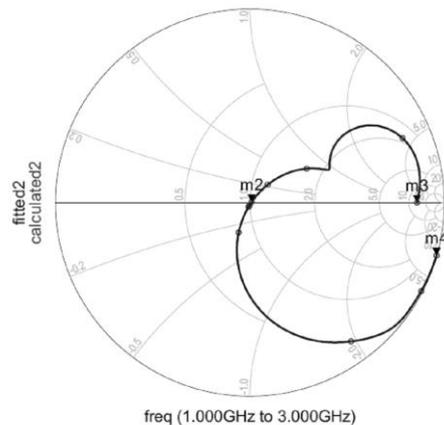


図9 八木・宇田アンテナスミスチャート

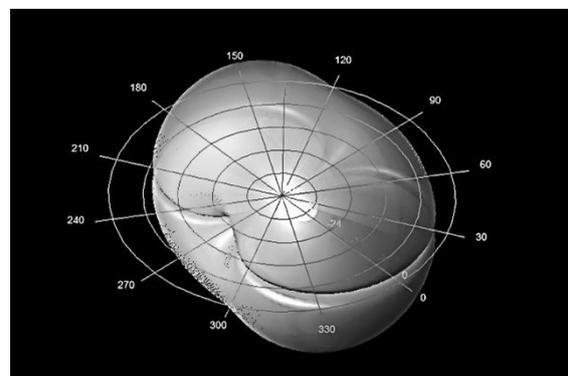


図10 八木・宇田アンテナ指向性パターン

今回の結果は、2.453GHz 付近で 1~2 の値を示していることがわかる。

図 9 では、m2 (共振周波数：2.456GHz) におけるインピーダンスは、 $Z_0 \times (1.018 + j0.006)$ となっており、設計目標値に近い値となっている。

図 10 に、共振周波数($f = 2.456\text{GHz}$)における八木・宇田アンテナのアンテナゲインの指向性パターンシミュレーション結果 (3次元イメージ図) を示す。八木・宇田アンテナの特徴通り、導波器方向に鋭い指向性を示している事が分かる。

3.4 小型メアンダライン・モノポール・アンテナの設計

もう 1 種類のアンテナとして、小型メアンダライン・モノポール・アンテナを検討した。小型のメアンダライン・アンテナはモノポールア

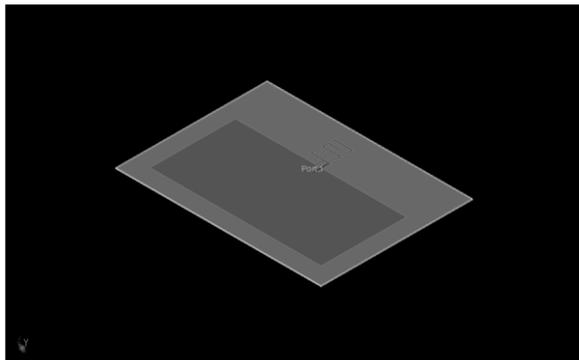


図 11 小型メアンダライン・モノポール・アンテナの設計イメージ

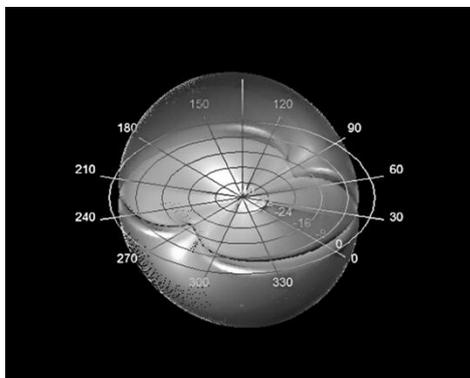


図 12 小型メアンダライン・モノポール・アンテナ指向性パターン

ンテナと同様の放射特性を持つ。またメアンダラインの段数、縦線の間隔、ピッチをえることにより、同じ高さのモノポールアンテナに比べ共振周波数を低くできる特徴がある。前節で述べた、八木・宇田アンテナと同様に、設計イメージを図 11 に、共振周波数($f=2.442\text{GHz}$)における指向性パターンのシミュレーション結果を図 12 に示す。これから、前述の八木・宇田アンテナに比べ広い指向性を有している事が分かる。

3.5 アンテナの加工

アンテナはサンハヤト (株) 製「クイックポジ感光基板作製システム」を用い作製した。「クイックポジ感光基板作製システム」はプリント基板の試作等に用いられるシステムである。

主な工程は以下のとおりである。

工程①：アートワーク (パターンフィルム作成)

工程②：露光

工程③：現像

工程④：エッチング

工程⑤：外形切断

3.6 アンテナの評価

前節で述べたように、加工したアンテナについて、実際の実験評価を行い、シミュレーション結果との比較を行った。

3.6.1 測定条件

測定項目は、①リターンロス測定、②指向性パターン、の 2 つとした。

使用した設備は、

①リターンロス

・ネットワークアナライザ

Agilent Technology 8753E

②指向性パターン

・電波暗室 1GHz 超 簡易電波暗室

・スペクトラムアナライザ

Agilent Technology E7405A

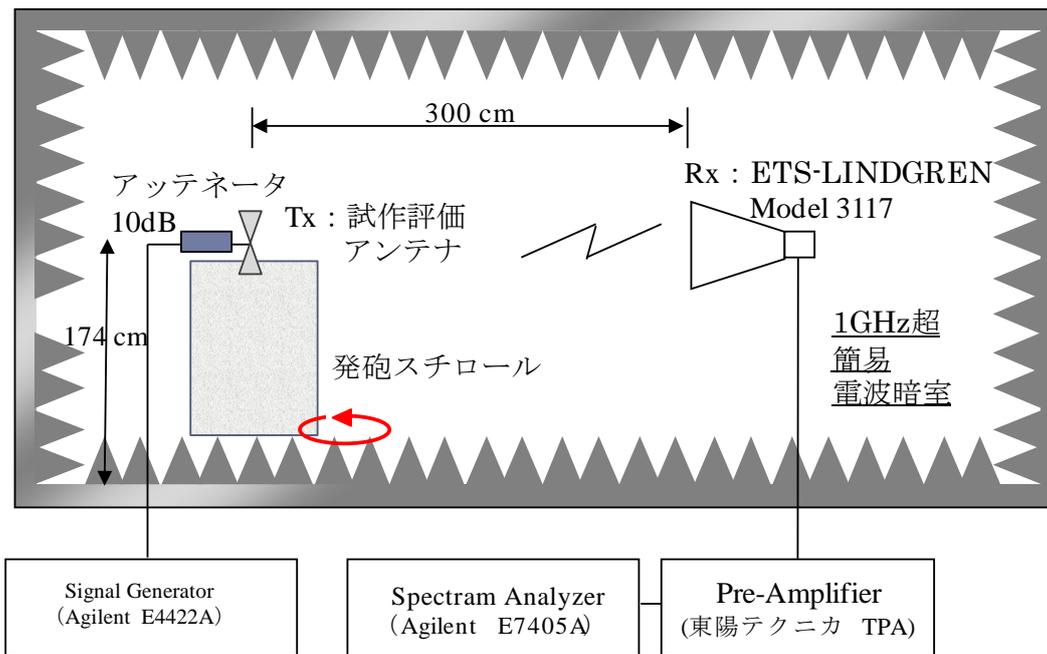


図 13 指向性パターン測定系ブロック図

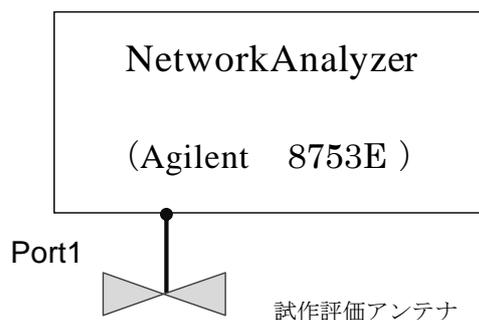


図 14 リターンロス測定系ブロック図

- ・信号発生機
Agilent Technology E4422A
- ・プリアンプ
東陽テクニカ RF PRE AMPLIFIER TPA
- ・試験アンテナ (Tx)
試作アンテナ
- ・受信アンテナ (Rx)
ETS-Lindgren 3117

指向性パターンの測定系ブロック図を図 13 に、リターンロスの測定系ブロック図を図 14 に示す。

3.6.2 アンテナ単体の評価結果

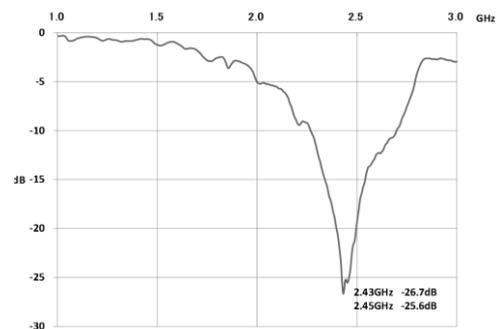


図 15 リターンロス測定結果

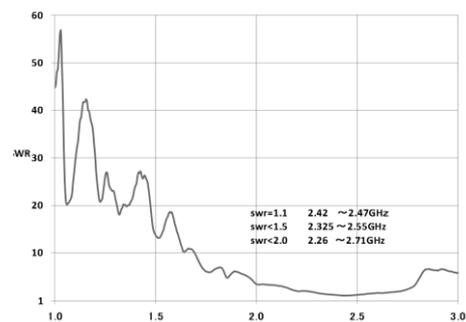


図 16 VSWR 測定結果

八木・宇田アンテナのリターンロスの測定結果について、図 15 に示す。これから、共振周波数は、2.43GHz ということがわかる。これは、シミュレーション結果の 2.453GHz と若干ずれ

ている。また、VSWR 測定結果を図 16 に示す。これから、2.26GHz~2.716GHz という広範囲で、VSWR が 2.0 以下ということがわかる。これは、シミュレーション結果と符号している。

次に、指向性パターン測定結果の 1 例について、図 17 に示す。これより、0° 方向への指向性が良好であることがわかる。

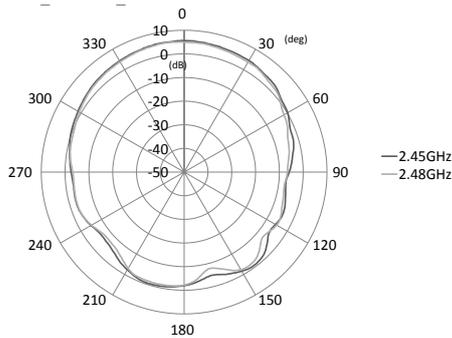


図 17 指向性パターン測定結果

同様に、小型メアンダライン・モノポール・アンテナ、および、CC2530 ZDK の標準アンテナについても測定し、それらの指向特性を比較した結果を図 18 に示す。

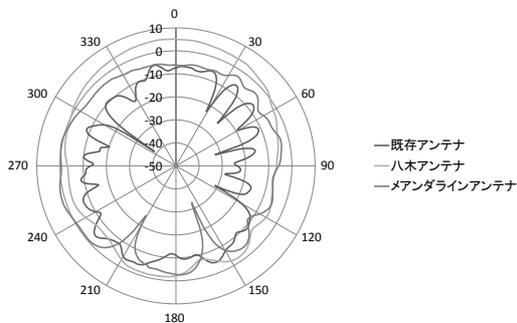


図 18 3種類のアンテナ特性比較

これより、八木・宇田アンテナは 0° 方向に対して標準アンテナよりも指向特性が良く、小型メアンダライン・モノポール・アンテナは全方向において、標準アンテナより指向特性が良いことがわかる。

4. 開発した通信ユニットの技術適合証明

開発する通信ユニットを使用し、今後、展示会等でのデモを想定しているため、製品化候補通信ユニットについて、公共の場でも電波を

射できるように、当該通信ユニットについて、技術基準適合証明を行なった。以下、申請の事前試験および、申請の手続きについて述べる。

4.1 事前試験

2.4GHz 帯技術適合証明の申請手続きに必要な、以下の申請項目について、当所の設備を利用して、申請前の簡易計測試験を実施した。

- (1) 実効放射電力
- (2) 空中線利得
- (3) 空中線電力
- (4) 占有周波数帯域幅
- (5) 拡散周波数帯域幅
- (6) 周波数偏差
- (7) 指向特性

試験に使用した設備を表 6 に示す。今回の計

表 6 技術基準適合証明
事前簡易計測試験に係る試験設備

測定設備	メーカー名・型式
電波暗室	工業技術総合研究所 電波暗室（登録）
	トーキンEMCエンジニアリング製 特別仕様
	工業技術総合研究所 簡易電波暗室（1GHz超）
	ETS-Lindgren製 特別仕様
EMI テストレシーバ	ROHDE & SCHWARZ ESU26
プリアンプ	東陽テクニカ TPA0108-40
受信用アンテナ	ダブルリッジドガイドアンテナ ETS Lindgren 3117
送信用アンテナ	ダブルリッジドガイドアンテナ Schwarzbeck BBHA9120B
信号発生器	Agilent N5181A-506

測は、16CH 分の計測が必要であるが、そのうちの 1CH の結果について、表 7 に示す。

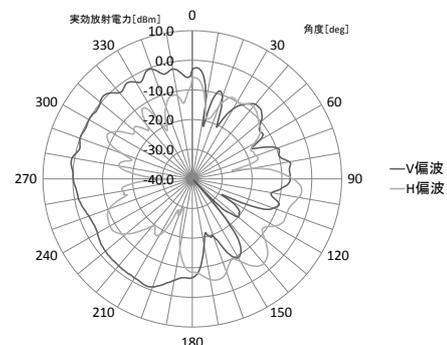


図 19 指向特性の測定結果の例

表 7 2.4GHz 帯技術適合証明事前簡易計測試験に係る測定結果の例

CH	周波数	実効放射 電力： (非拡散時)	空中線 利得	半値幅 (非拡散時)	空中線電力 (非拡散時)	占有周波 数 帯域幅	拡散周波 数 帯域幅	周波数 偏差
	GHz	dBm	dBi	deg	dBm	MHz	MHz	
1	2.405	4.732	0.385	81	-1.74594397	2.772435897	3.717948718	6.66E-06

また指向特性については、一例として、図 19 に示すような結果となり、これらの結果をもとに、技術基準適合証明申請を行った。

4.2 手続きの流れ

下記の図 20 に示す流れに沿って、申請を行った。前節で述べた、事前試験結果のほか、設計図面やブロック図、工事設計書等を揃えたうえで、現物となるユニットを添えて、申請し、結果として、図 21 に示す技術基準適合証明シールを交付された。



図 20 手続きの流れ



図 21 技術基準適合証明シール

5. 全体システムの開発

5.1 ハードウェアの仕様

ハードウェアとしては、無線モジュール格納ケースより小型化する事、電池の交換時間を延ばすために電池の大容量化を実現する事、低コスト化を図るために片面基板での開発を行う事を念頭に開発を行った。図 22 に端末の外観を示す。



図 22 開発した端末の外観

5.2 ソフトウェアの仕様

ソフトウェアは RF サブシステム、測位計算サブシステムおよび、見える化サブシステムから構成される。RF サブシステムはタグ（測位対象点）とカンバン（測位基準点）デバイスのファームウェアから成り IEEE802.15.4 ネットワークを構成する。標準のファームウェアに対してタイマ設定による LQI の任意間隔での送出機能や送信出力制御機能の追加改造を行った。

測位計算サブシステムはカンバンからの LQI データ収集、測位判別制御および判別計算プログラムから成る。計測されたデータは LQI デー

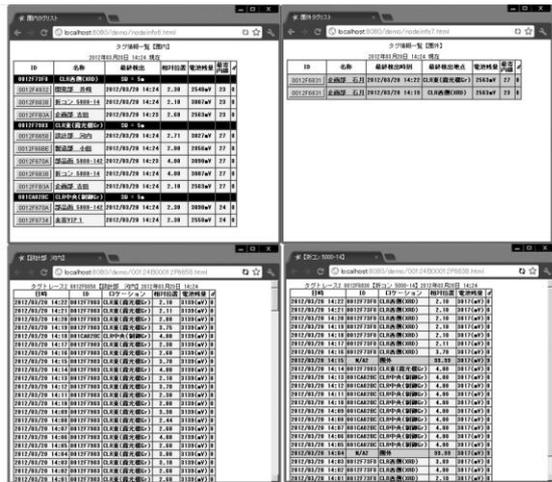


図 23 Web モニタ画面



図 24 タブレット端末の外観

タに格納され、カンバン（測位基準点）が設置された場所の名前や管理距離範囲の情報および、タグ（測位対象点）の属性（社員番号や所属・氏名、備品番号や名称等）が格納され、カンバン（測位基準点）が設置された場所の名前や管理距離範囲の情報および、タグ（測位対象点）の属性（社員番号や所属・氏名、備品番号や名

称等）が格納された位置情報データを参照し処理を行う。

データ収集と測位計算はデータベース（MySQL）をインタフェースとして各々非同期に並列分散処理を行うため、目的システム適用時のネットワーク構成設計やハードウェア構成設計の独立性と柔軟性を確保している。見える化サブシステムは Web モニタ（図 23）とタブレット端末（図 24）による表示盤からなり、データベースと TCP/IP ネットワークを介して独立して通信するため、目的システムの用途に合わせた拡張性の高い構成を可能としている。

RF サブシステムのセンシング部は、①移動判別モード、②動態測位モード、③静態測位モード、④ゲート検知モード、⑤混合モードの 5 つの動作モードを実装した（表 8）。

①移動判別モードは対象物の移動の有無（位置の変化、高さの変化、向きの変化）を判別する。②動態測位モードは対象物が指定した同心正方形の内側に位置するか外側に位置するかの距離範囲を判別し、LQI 分散モデルと送信出力の組合せによって 3m 以内、5m 以内、7m 以内、10m 以内、10m 以上の 5 つのレンジを切替えて計測、または、3m~10m の一連の距離範囲のどこの内側に位置するかを計測する。このモードは主に作業員の動態管理で使用することを想定している。③静態測位モードは主にほとんど移動しない対象物が移動を開始した状態を判別する。検査装置などの位置管理での使用を想定している。④ゲート検知モードは対象物が位置を

表 8 5 つの動作モード

測位モード	対象レンジ	分解能	出力	参照モデル名	群判別回数	不偏分散閾値	群判別閾値	最小計測間隔	標準計測間隔
①移動判別モード ②動態測位モード	1m~10m	2m~3m	+4.5dBm	Y1Y2Y3Y4	84	1.902	0.15	1秒	5秒
	5m内外	5m	-10dBm	Y1,Y2	20	1.902	0.15	1秒	5秒
	3m内外	3m	-22dBm	Y1,Y2	12	1.902	0.15	1秒	5秒
③静態測位モード	1m~10m	2m~3m	+4.5dBm	Y1Y2Y3Y4	84	1.902	0.15	1秒	60秒以上
④ゲート検知モード	3m内外	3m	-22dBm	Y1,Y2	12	1.902	0.15	1秒	20秒
⑤混合モード	1m~10m	2m~3m	+4.5dBm	Y1Y2Y3Y4	84	1.902	0.15	60秒	60秒

表 9 混合モードの動作パターン

毎正分(秒)	00	10	20	30	40	50	00	10
処理	ネット ワーク 初期化	ゲート検知モード		動態測位・静態測位・移動判別モード			ネット ワーク 初期化	・・・
出力	-22dBm			+4.5dBm			-22dBm	・・・

固定されたカンバン（測位基準点）に接近あるいは通過したかを判別し、いわゆるゲート型の位置情報管理での使用を想定している。⑤混合モードは①から④までのモードをソフトウェアの指示で組合せてひとつのカンバン（測位基準点）ユニットで混在運用する。これは指定された計測所要時間を指定された配分で時分割して各モードを切替えてひとつのユニットに複数の計測モードを割りつけて運用を行う（表 9）。

6. 今後の予定

以上により、全体システムを開発することができた。当該システムの特徴は、無線により非接触で、中精度の位置（範囲）特定を、低消費電力で行うシステムである。これらの特徴を活かすことができるような用途であれば、今回提案した生産現場における作業者の動態管理だけでなく、事務所での在席管理や、備品等の位置管理等、幅広い応用先が想定できる。今後、顧客評価用システムのリリースを行い、各業種の顧客に様々な評価実証試験を行っていただき、着実な実用化を図りたいと考えている。

7. 結 言

(1)無線通信規格および周波数はそれぞれ、IEEE802.15.4, 2.4GHz 帯の通信ユニットを

採用し、測位方式は、電界強度の平均値と標準偏差から、ある範囲内にいるのか範囲外なのかの判別分析を行うことで、位置範囲の特定をするアルゴリズムを開発した。

(2)通信ユニットのうち、生産現場において、製造される機械側に設置する（カンバン側）用に指向特性の異なる 2 種類の平面アンテナの設計、加工、評価を行い、指向性パターンの異なる 2 種類の平面アンテナの試作を行った。

(3)上記通信ユニットおよびアルゴリズムにより、生産現場等において作業者の動態管理が可能なデモシステムを開発した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、電波計測技術に関して有益なアドバイスをいただいた、新潟大学工学部佐々木教授、石井准教授に感謝する。

また、統計理論に関して有益なアドバイスをいただいた、新潟大学医歯学総合病院赤澤教授に感謝する。

参考文献

1)河口至商，“多変量解析入門 I”，1973，p81-93.

窒素含有汎用クロム系ステンレス鋼の実用化研究

三浦 一真* 林 成実*

Study of Nitrogen Content General Chrome-based Stainless Steel for Practical Use

MIURA Kazuma* and HAYASHI Narumi*

抄 録

Fe-13~18mass%Cr のうち特殊な添加元素を含まない汎用ステンレス鋼の窒素吸収処理に関する研究を行った。素材を窒素雰囲気・高温で処理することで、窒素(N)を添加する。このうち、マルテンサイト系ステンレス鋼である Fe-13mass%Cr は N 添加により通常の熱処理の場合に比べ、素材の硬さが約 10~15%ほど高くなる。耐食性は同等以上であった。フェライト系ステンレス鋼である Fe-16mass%Cr に N を添加すると表面部から窒素が吸収されて相変態し、やや硬い窒素吸収層を形成する。この層の厚さは処理温度、時間と相関がある。なお、耐食性については今後、詳細に検討する予定であるが、JIS 準拠の孔食電位は 0.3V を示しており、オーステナイト系ステンレス鋼である Fe-Cr-Ni に匹敵する値を示した。

1. 緒 言

ステンレス鋼は耐食性を向上させる目的でクロム(Cr)又はCrとニッケル(Ni)を合金させた合金鋼で、一般にはCr含有量が約11mass% (以後mass%を省略) 以上の鋼をいい、主としてその組織によって、マルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、オーステナイト・フェライト系 (二相ステンレス) 及び析出硬化系の五つに分類される。

鉄(Fe) 以外はCr が必須合金元素でJIS において100 種類程度のステンレス鋼種が規定されている。ステンレス鋼は厨房器具・台所用品・ガス・石油器具等に代表される家庭用、ビルの内外装パネル・サッシ類や大規模展示場・空港の屋根等の建材、一般機械、産業機械、化学・食品プラント、車両・自動車の排気系・エンジン部品等の輸送機器、電気機器等多方面の分野で用いられ、先端分野、腐食環境製品を中心に要求される特性が厳しくなっている¹⁾。

ステンレス鋼は従来からオーステナイト系を中心に希少金属であるNi、モリブデン(Mo)を含んだ鋼種が多く存在する。さらに、最近では耐食性、加工性、溶接性等の改善を目的にCrの含有量を高めたり、ニオブ(Nb)、チタン (Ti) をはじめとする希少金属を微量添加した鋼種が数多く開発されている。ところが、これらの希少金属は耐用年数の短いものが多く、産出地域が偏在化しており、価格も変動しやすい。

ステンレス鋼は2006~2007年にかけて、Niの高騰によるオーステナイト系の価格上昇と鋼材不足を招き、代替鋼種として、18Cr以上の高Cr系のフェライト系ステンレス鋼が数種開発された²⁾。

このような状況のもと、我々は高 Cr のフェライト系ステンレス鋼に窒素吸収することにより、オーステナイト化することで耐食性をはじめとする優れた特性が得られることに着目し、当初 Fe-24Cr-2Mo (研究開発材) の素材に窒素を 1%強吸収させてオーステナイト相へ変態させ、既存のオーステナイト系ステンレス鋼と同

* 研究開発センター

等以上の特性を有する Ni を含まない Ni フリーステンレス鋼の研究開発を行ってきた^{3), 4)}。

さらに、誘導加熱と真空ガス置換による窒素吸収処理技術を開発し、Fe-24Cr-2Mo の類似組成で市場に流通している素材である SUS445J2 相当鋼種の窒素吸収処理ステンレス鋼の開発に成功し、数例の製品試作を行うとともに、事業展開を図っているところである^{5), 6)}。

本研究では、流通量が多く、価格も安定な汎用ステンレス鋼の付加価値を高めることを目的に汎用鋼種への窒素吸収処理を試み、その適用可能性について、基礎研究を開始した。本報告では、マルテンサイト系ステンレス鋼の Fe-13Cr-0.3C (以後、文章中では Fe-13Cr) とフェライト系ステンレス鋼、Fe-16Cr について現在までに得られている研究結果と実用化へ向けての方向性と技術課題について述べる。

2. 実験方法

2.1 窒素吸収処理

窒素吸収処理に用いた素材はマルテンサイト系ステンレス鋼であり、SUS420J2 に相当する Fe-13Cr とフェライト系ステンレスの汎用鋼種で SUS430 に相当する Fe-16Cr である。両鋼種の化学組成を表 1 に示す。いずれも特性改善を目的としたレアメタル等の微量添加元素を含んでいない。

窒素吸収処理は誘導加熱方式の真空ガス置換機構付加熱装置 (SK メディカル電子(株)製, MD-1700D) で行った。装置外観を図 1 に示す。処理可能なサンプルの大きさは 50×50mm である。処理手順は、脱脂・洗浄した板材サンプルを炉内に設置後、真空排気によるガス置換を行い、窒素ガス充填後、大気圧窒素雰囲気にて加熱を開始した。所定の加熱温度に到達後、一定時間保持し、加熱終了後は窒素ガスで冷却した。

窒素吸収処理は焼入れにより硬くすることが目的の Fe-13Cr 系は前述の寸法で厚さ 2mm の板材を用い、1050℃で 30min の条件で行った。比較のために前述の温度と時間で汎用の電気炉を

用いた処理も行っている。一方、硬さよりも耐食性等の特性改善が目的の Fe-16Cr 系では厚さ 0.8mm の板材を用い、900℃、30min で焼鈍を行った後、1150℃まで昇温し、10min 保持後、直ちに急冷した。

処理終了後は、金属顕微鏡や走査型電子顕微鏡による断面組織観察やマイクロビッカース硬度測定を行った。また、ONH 分析装置 ((株)堀場製作所製, EMGA-1300) を用い、素材に含まれる窒素の定量分析を行った。さらに、グロー放電発光分析装置 (以下, GD-OES, (株)堀場製作所製) を用いて、処理材の表面近傍の元素分析を試みた。

2.2 耐食性評価方法

耐食性の評価は Fe-13Cr 系については JIS 準拠の塩水噴霧試験を 8h 行い、試験前後の外観を観察するとともに、孔食性の評価手法のひとつである外部から一定の速度で電位をあげ、食孔が発生した時の孔食電位を測定する試験で行った。

孔食電位の測定は JIS G 0577『ステンレス鋼の孔食電位測定方法』に準拠した。試験装置の概略と装置の外観を図 2 に示す。

試験用サンプルは試験前に耐水研磨紙#600 で

表 1 処理に用いた素材の化学組成 (wt.%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cr
Fe-13Cr	0.3	0.46	0.6	0.024	0.006	12.36
Fe-16Cr	0.05	0.27	0.14	0.023	0.003	16.14

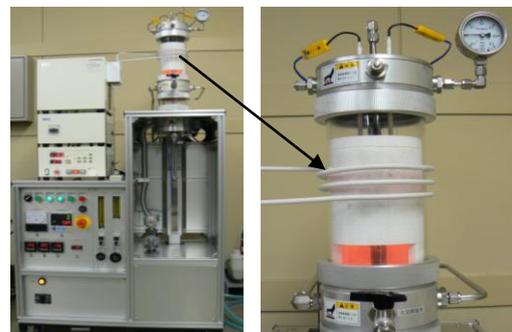


図 1 真空ガス置換機構付加熱装置

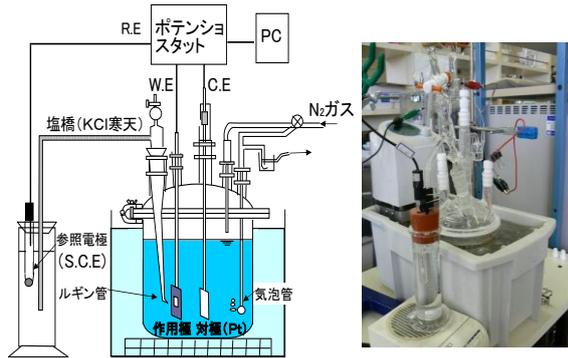


図2 試験装置概略と外観

研磨を行った後、アセトンで洗浄後、硝酸による不動態化処理を行った。試験前に 1cm^2 の電極面を確保し、それ以外をエポキシ樹脂にてコートし、乾燥後試験面を再度#600 の耐水研磨紙で研磨し、サンプルを電解槽内にセットした。

試験溶液は 5.5%NaCl 水溶液を使用し、脱気は高純度窒素ガスを用いて行った。設定液温は 30°C である。また、電位掃引速度は $20\text{mV}/\text{min}$ に設定した。

試験は電流値の変化を見るものである。典型的な変化は、電位を上げると途中電位の変化にかかわらず電流値が一定になる不動態域に入り、さらに電位をあげたときにある電位で急激に電流値が高くなる。この電流値が立ち上がる際の電位が孔食電位であり、このとき素材が激しく溶け出して食孔が形成される。一部の供試材については試験後の表面をデジタルマイクロスコープを用いて観察した。

3. 結果と考察

3.1 Fe-13Cr ステンレス鋼の窒素吸収処理

図3は断面の金属組織写真を示す。図3(A)は大気中での通常の焼入れ、(B)は窒素吸収処理、すなわち、窒素雰囲気中で焼入れを行った場合の組織を示す。写真を窒素吸収処理したものでそれぞれ、上の写真はエッチングにより得られた金属顕微鏡像、下は二次電子像(未処理)を示す。金属顕微鏡写真を見ると、マルテンサイト組織に変態していることがわかる。写真を比較

すると、窒素吸収処理がよりはっきりした針状の組織を呈している。5点平均のマイクロビッカース硬さは(A)が $580\text{HV}0.3$ 、(B)が $685\text{HV}0.3$ である。ロックウェル硬さのおおよその換算値は(A)が約 $52\sim 53\text{HRC}$ 、(B)は $59\sim 60\text{HRC}$ である。(B)で得られた数値は Fe-16Cr-0.6 \sim 1.2C 系 (SUS440C 相当鋼種) の焼入れ硬さに匹敵する高い値が得られた。

図4は熱処理を行った試験片について 8h の塩水噴霧試験を行った後の外観観察結果を示す。(A)は通常の処理、(B)は窒素吸収処理を施した試験片である。通常の焼入れの(A)では周辺部にさびが発生している。それに対して、窒素吸収処理(B)ではさびは観察されなかった。

耐食性については孔食電位でも比較した。その結果を図5に示す。ここでは Fe-13Cr-0.3C に加え、C の高い Fe-13Cr-0.6C の測定を行った。なお、図4に掲載した分極曲線は平均値に近い代表的なものである。(A)の C 含有が高い場合、孔食電位は 0V に至らず、非常に低い値となる。Fe-13Cr-0.3C の通常焼入れ(B)では、孔食電位は 0V 前後となる。窒素吸収処理を施した(C)では孔食電位は平均で 0.1V で、通常の焼入れに比べ、 0.1V 高い値を示した。図6は電位測定後の電極表面であり、いずれも測定終了時に形成された食孔が観察されている。

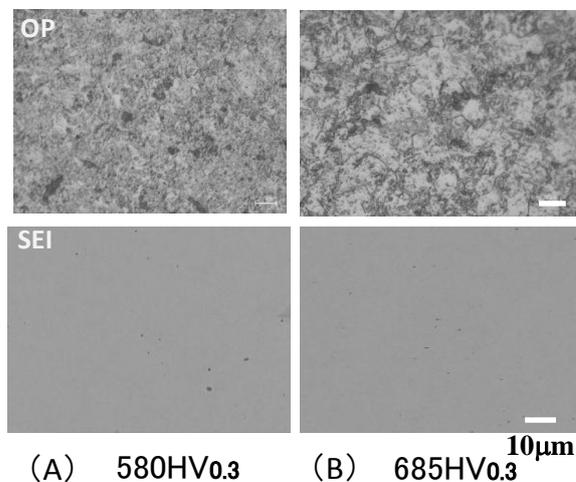


図3 断面の金属組織写真

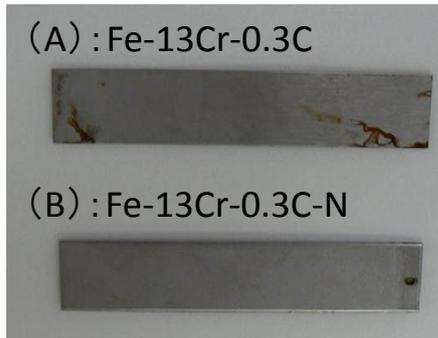


図4 塩水噴霧試験後の試験片外観

(A) Fe-13Cr-0.6C、(B) Fe-13Cr-0.3C、(C) Fe-13Cr-0.3C-N

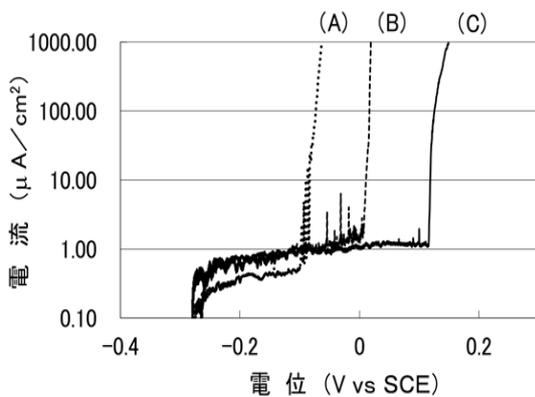
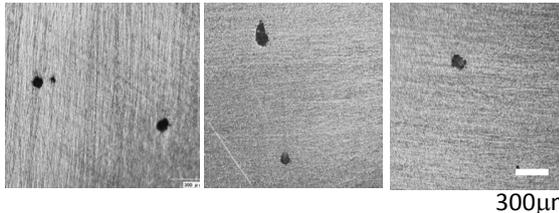


図5 孔食電位測定結果



(A):Fe-13Cr-0.6C, (B):Fe-13Cr-0.3C, (C):Fe-13Cr-0.3C-N

図6 孔食電位測定後の電極表面

3.2 Fe-16Cr ステンレス鋼の窒素吸収処理

本研究ではフェライト系ステンレスのうち Cr 含有量が 20%未満、特に 16~18%Cr で添加元素のない最も汎用な Fe-16Cr ステンレス鋼の窒素吸収処理プロセスの研究を開始した。図 7 に処理結果の一例を示す。いずれも 900℃、30min で焼鈍後、1150℃まで昇温して一定時間保持後急冷して得た組織であり、(A)は昇温後 10min 保持して得られた組織、(B)は保持時間が 2h の場合である。

1150℃で窒素吸収処理を行うと、表面からフェライトとは異なる層（便宜上、窒素吸収層と呼ぶ）が形成される。この組織は Fe-22Cr-1Mo や Fe-24Cr-2Mo といった 20%を超える高 Cr 系のフェライト系ステンレス鋼を窒素吸収処理して得られるオーステナイト組織とは異なり、マルテンサイトにやや似た組織に見える。この層のマイクロビッカース硬さは 480~530HV_{0.3} であり、先の Fe-13Cr 系の場合よりは低いが、窒素吸収処理で得られるオーステナイト組織よりはるかに硬い。

この層は処理時間とともに成長する。処理時間が 10min で約 100μm の厚さとなり、2h の処理ですべてがこの層に変態する。窒素吸収層からなる Fe-16Cr-N について JIS 準拠の孔食電位測定試験を行い、既存のステンレス鋼と比較した。その結果を図 8 に示す。測定は各条件 3 回行った結果のうち平均値にもっとも近い分極曲線を示している。1150℃で 2h 窒素吸収処理を行い、窒素吸収層を形成させたものが(D)である。比較に用いたステンレス鋼のうち、(A)は処理前の Fe-16Cr、(B)と(C)は Ni を含むオーステナイト系ステンレス鋼であり、(B)は SUS304、(C)は SUS316 に相当する鋼種の結果を示す。

(A) に示す Fe-16Cr の孔食電位は約 0.1V である。(A)に 1150℃で 2h 窒素吸収処理を行い、窒素吸収層を形成させた(D)は孔食電位が大幅に貴な方向に移動し、オーステナイト系ステンレス鋼である(B)を上回り SUS316 である(C)に匹敵する高い孔食電位を得た。

以上の結果、Fe-16Cr に 1150℃で窒素吸収処理して得られた層は高い耐食性を示すことがわかった。耐食性については処理温度との相関、更なる耐食性向上のためのプロセス改良、等引き続き研究を継続する。

3.3 窒素吸収処理材の特性向上機構

窒素吸収プロセス後のサンプル中に含まれる窒素含有量の分析等を行い、状態図から窒素吸

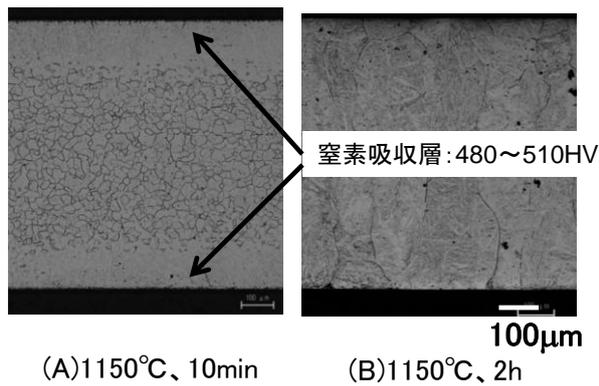


図7 窒素吸収処理後の断面組織

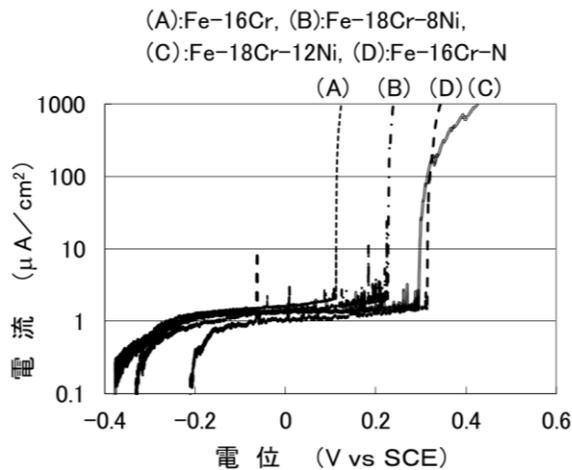


図8 孔食電位測定結果

収処理による特性向上機構について考察した。

図9はFe-13Crの窒素吸収後の表面からのCr, C, NのGD-OES分析結果を、図10は同じ組成の垂直断面状態図を示す⁷⁾。表面から1~1.5μmまでのCrとCの分析結果は、素材の化学成分とほぼ同じである。窒素吸収後、このサンプルに含まれる窒素含有量はおよそ0.2%である。Fe-13Cr窒素吸収サンプルをONH分析装置で定量分析を行ったところ、平均値は約0.2%であるが、測定値自体は0.05~0.5%で大きくばらついた。GD-OES分析の深さプロファイルから得られる値はONH定量分析の平均値を示している。図10の垂直断面状態図によると、窒素吸収温度1050°Cでは窒素が0.1%前後からオーステナイト(γ)領域に入ってくる。

したがって、含まれる窒素の量がある程度ばらついていても1050°Cでの加熱保持中ではγである

と思われる。この状態から急冷すると、γからマルテンサイトに変態する。CやNは侵入型固溶元素であるが、Cが多い場合は急冷により固溶Cが歪むとともに一部固溶しきれないCがFeやCrと炭化物を形成して析出することで硬くなるものと思われる。例えばCが1%含む場合は700HV、ロックウエル換算で約60HRCの硬度を得る。今回のようにCが0.3%と低い場合は、固溶限まで到達せずに炭化物は形成されないため、ビッカース硬度で600HV弱(52~53HRC相当)であり、それほど硬くならない。図11に窒素吸収処理によるFe-13Crの結晶構造の変化の模式図を示す。窒素吸収した場合、1050°Cでの加熱保持中はγ相になる。この間、吸収されたNはCと同様に固溶する。γを急冷すると、マルテンサイトに変態するが、Nは窒化物を形成せずにCとともに歪んだ状態で固溶するため硬くなるものと考えられる。したがって、窒化物や炭化物を形成せずに680HV(59HRC相当)の高い硬度値が得られるものと考えられる。

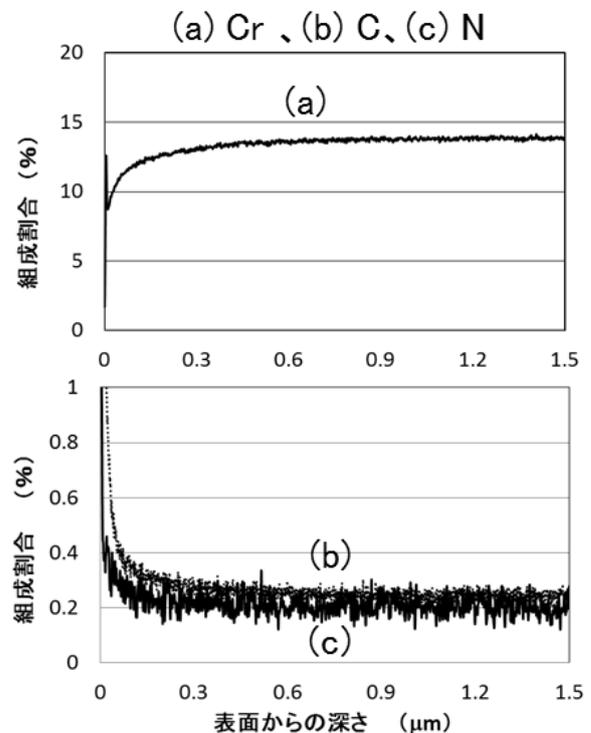


図9 GD-OESによるFe-13Crの表面からの深さプロファイル

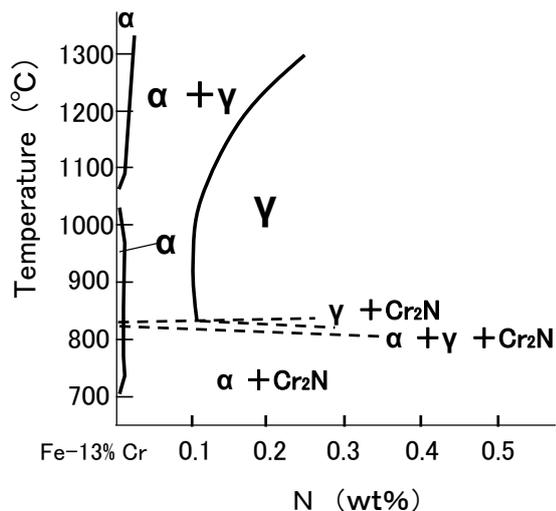


図 10 垂直断面状態図 (Fe-13Cr)

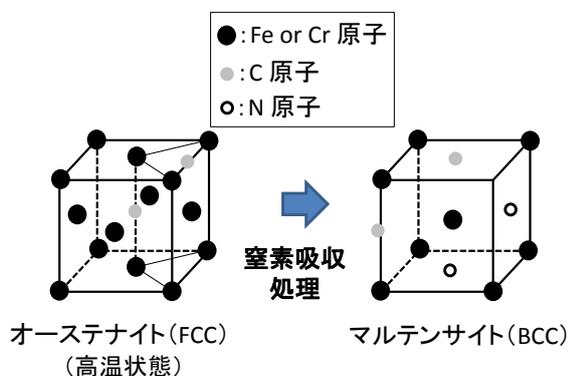


図 11 窒素吸収処理による Fe-13Cr の結晶構造の変化

今回、Fe-13Cr 中の N 量がばらついた。N 量は硬度や耐食性と相関があるものと考えられることから、Fe-13Cr については更なる耐食性の改善に向けて研究開発を継続していく。

図 12 は Fe-16Cr の窒素吸収後の表面からの Cr, C, N の GD-OES 分析結果を、図 13 は Fe-18Cr 組成の垂直断面状態図を示す⁷⁾。GD-OES による深さラインプロファイルより、固溶している N 量は 0.5~0.8% の範囲である。垂直断面図によると、Fe-16Cr 材は窒素吸収処理温度である 1150°C ではオーステナイト (γ) 相である。

加熱終了時、急冷したときに生成する金属相 (組織) や化合物の同定を目的に X 線回折を行った結果を図 14 に示す。なお、比較のために Fe-16Cr の未処理材についても X 線回折を行っ

た。Fe-16Cr の未処理材(b)は、フェライトの回折パターンに一致している。一方、窒素吸収処理材の回折パターン(a)は未処理のもので得られたフェライトの回折パターンと同じ角度のところにピークが見られるが、未処理材とピーク強度は異なっており、回折角が 40° 付近の第 1 ピ

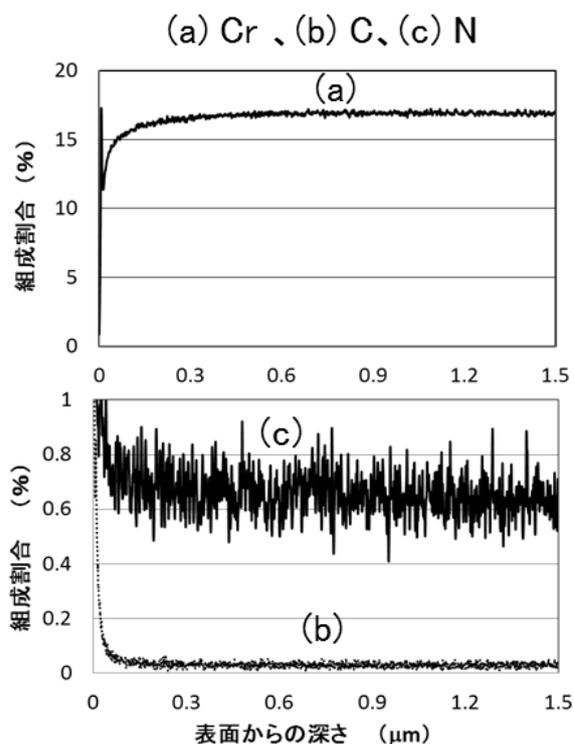


図 12 GD-OES による Fe-13Cr の表面からの深さプロファイル

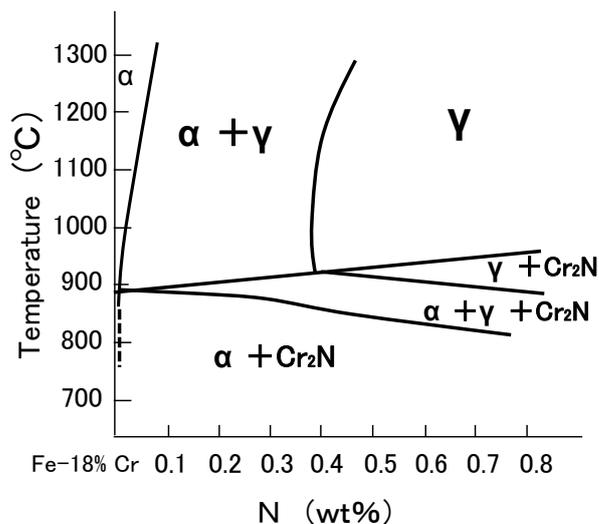


図 13 垂直断面状態図 (Fe-18Cr)

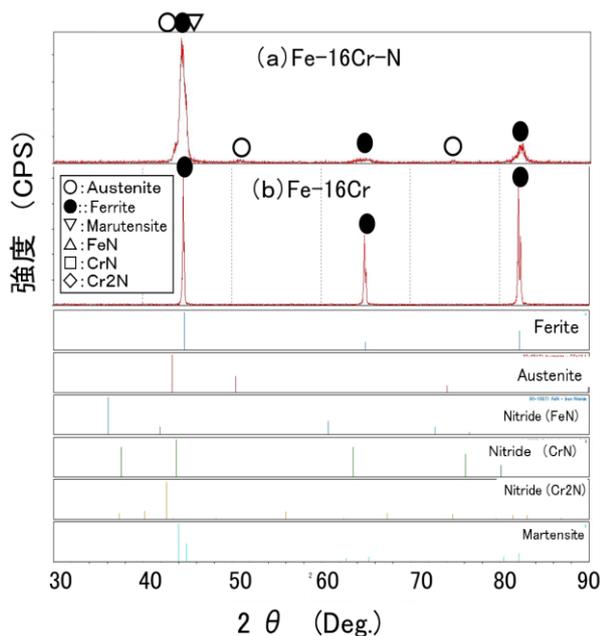


図 14 Fe-16Cr 材の X 線回折結果

ークは非常に強く、65° 付近に見られる第 2 ピークと 80° 付近に見られる第 3 ピークの強度は弱くなっている。また、各回折ピークとも処理前に比べると若干、検出角度がブロード状に広がっている。この第 2, 3 ピークはマルテンサイトの第 2, 3 ピークにも近い。また、ピーク強度は低いものの、オーステナイトの第 2, 第 3 ピークが認められる。強度の高い第 1 ピークは、オーステナイト、フェライト、マルテンサイトの第 1 ピークが近い回折角で近接して存在している。したがって、このピークはこれらの複数のピークから成るものと考えられる。

窒素吸収層の組織観察ではマルテンサイトに近い形態を示したが、硬度は 500HV でマルテンサイトとしては硬度が低い。したがって、マルテンサイト単相ではなく、オーステナイトやフェライトとの混合組織になっている可能性がある。なお、窒化物が形成される可能性もあるが、金属組織や X 線回折の結果より、その可能性は低いと考える。

加熱終了後の冷却はガスにより行っているが、水冷や放冷、など冷却速度によっても組織は変

化するものと思われる。今度、冷却速度による金属組織の違いについて研究していく。

特に 20Cr を超える高 Cr 系にステンレス鋼は窒素吸収処理により Cr-Ni 系ステンレス鋼と同じオーステナイト組織に相変態する。

Fe-16Cr についてもオーステナイト組織への変化を期待したが、オーステナイトとは異なる組織となった。窒素吸収処理に関する研究例の多くは Cr が 20% 以上である高 Cr 系の特殊組成であり、窒素吸収後の金属組織は耐食性等の特性に優れているオーステナイトである⁸⁾⁻¹⁰⁾。

一方、Cr が 20% 以下の窒素吸収に関する研究報告例は少ない。Fe-16Cr 系では、加圧雰囲気での窒素吸収を行った研究報告例があるが、オーステナイトとは異なった組織を呈している¹¹⁾。

耐食性は高 Cr ステンレス鋼を窒素吸収して得られるオーステナイト組織よりは劣るもの窒素吸収処理前からは大幅に改善されることが明らかになった。しかしながら、窒素吸収層が硬いため、加工は難しい。

したがって、最終形状に加工後、窒素吸収するのが有効であるが、コストの上昇を抑えるためには量産技術の確立が必要である。そのためには、板材等の一次加工品に窒素吸収処理を施してから成形加工するのがより効果的である。そこで、今後は Fe-16Cr について、加工が可能な窒素吸収板材の開発研究を行い、高耐食な板材としての実用化を目指す。

4. 結 言

- (1) Fe-13Cr に窒素吸収処理、すなわち、窒素雰囲気での焼入れを行った。処理後の硬さは約 685HV (59HRC 相当) である。一方、通常の焼入れでは 580HV (53HRC 相当) であり、窒素吸収で硬度が上昇する。また、塩水噴霧試験や孔食電位の測定試験を行ったところ、通常の焼入れ材を上回る耐食性を示した。
- (2) Fe-16Cr に窒素吸収処理を行うと、表面から素材組織と異なる窒素吸収処理層が形

成される。その厚さは 1150°C, 10min の処理で約 100 μ m で 2h の処理で 0.8mm の板材全体が窒素吸収処理層となる。窒素吸収処理層の硬度は約 500HV で、素材の硬度 200HV に比べると硬い。孔食電位を測定したところ、Cr-Ni 系のオーステナイト系ステンレス鋼に匹敵する電位が得られ、処理前に比べ、大幅な耐食性の向上が期待できる。

- (3) Fe-13Cr は窒素吸収処理を行うことで、マルテンサイト中に N が固溶することで通常の焼入れに比べ硬くなるものとする。通常の焼入れ材と同等以上の耐食性を示すのは窒化物等の化合物を形成しないためと考える。なお、耐食性は含まれる N 量と相関があり、更なる耐食性の向上を目指して研究を継続する。
- (4) Fe-16Cr で得られた窒素吸収層は 20Cr を超える高 Cr 系ステンレス鋼の窒素吸収処理で得られるオーステナイトとは異なる組織である。今後、Fe-16Cr の窒素吸収処理プロセスの研究を継続し、Fe-16Cr の耐食性改善を目的に板材の開発を行う。

参考文献

- 1) 根本力夫, “ステンレス鋼の選び方・使い方とトラブル対策”, (株)情報技術センター主催講演資料, 2007, p.8-21.
- 2) 三浦一真, “ニッケルフリーステンレス鋼の特性と開発動向”, プレス技術, Vol.45, No.15, 2007, p.37-41.
- 3) 三浦一真, 岡田英樹, 田辺寛, 大澤康暁, 安藤俊幸, 渡辺光雄, “Ni フリーステンレス鋼の実用化研究”, 新潟県工業技術総合研究所研究報告書, No.36, 2006, p.63-67.
- 4) 黒田大介, 岡村一伯, 中村晃規, 大澤康暁, 三浦一真, 白木原香織, “冷間圧延した Fe-24Cr-2Mo-1.2N の機械的性質”, Journal of JACT, Vol.14, No.3, 2009, p.29-34.
- 5) 三浦一真, 小林泰則, 内藤隆之, “窒素吸収素ステンレス鋼の開発”, 新潟県工業技術総合研究所研究報告書, No.38, 2009, p.39-44.
- 6) 三浦一真, “窒素含有ニッケルフリーステンレス鋼の実用化研究”, 新潟県工業技術総合研究所研究報告書, No.39, 2010, p.33-40.
- 7) Yunoshin IMAI, Tsuyoshi MASUMOTO and Keikichi MAEDA, “Structural Diagrams and Phase Reactions of Fe-Cr-N Ternary System”, Science reports of the Research Institutes, Tohoku University. Ser. A, Physics, chemistry and metallurgy, 19, 1967, p.35-49.
- 8) 遅沢浩一郎, 小林裕, “窒素鋼の耐食特性—特にステンレス鋼に関して—”, 窒素が拓く鋼の新しい展開とその利用 (190 回西山記念講座), 2006, p.73-91.
- 9) 馬場晴雄, 片田康行, 木村秀夫, “オーステナイト系ステンレス鋼のすきま腐食と再不動態化に及ぼす窒素の影響”, 日本金属学会誌, Vol.71, No.7, 2007, p.570-577.
- 10) 八代仁, “窒素鋼の耐食性に関する課題と今後の指針”, CAMP-ISIJ, Vol.22, 2009, p.1130-1133.
- 11) Hajime MITSUI and Shinsuke KURIHANA, “Solution Nitriding Treatment of Fe-Cr-Alloys under Pressurized Nitrogen Gas”, ISIJ International, Vol.47, 2007, p.479-485.

ICT を活用した遠隔技能伝承アシストシステム に関する研究開発（第2報）

五十嵐 晃* 中部 昇* 阿部 淑人**
大野 宏*** 江口 和也* 山本 正信****

Research and Development of Remote Technical Skill Succession Support System with ICT II

IKARASHI Akira*, NAKABE Noboru*, ABE Yoshito**,
OHNO Hiroshi***, EGUCHI Kazuya* and YAMAMOTO Masanobu****

抄 録

新潟県内の中小製造業における研磨作業や刃付け作業は、作業者の経験と勘に頼るところが多く、技能の伝承が円滑に進んでいない現状がある。本研究では、ICT（情報通信技術）を用いて、熟練作業者の作業を数値化することで可視化し、初心者にもわかりやすい表示をすることにより、技能の伝承を円滑に進めるシステムの開発を行った。さらに作業現場で得られる作業計測データを、無線LAN等のネットワーク経由で送信することで、遠隔地においても、作業現場と同様の情報を得られるようにし、遠隔地でも円滑に技能伝承できるシステムの開発を行い、現場作業員から好評を得た。

1. 緒 言

本研究では、ICTを活用し熟練技能者（以下、熟練者）が持つ技能を、無線を介してセンシングして可視化し、これを利用して技能を円滑に初心者に伝える伝承アシストを開発する。対象は金属製品の研磨作業と作業工具の刃付け作業とする。金属製品の光沢や作業工具の刃先の形状をわかりやすく表示し、熟練者しかできない動きや力の入れ方を抽出して可視化する。さらに得られたデータをネットワーク経由で遠隔地へ伝送することで、遠隔技能伝承アシストシステムを実現する。これにより、技能伝承に要する時間を従来の1/10に短縮することを目指す。以上をもって、熟練技能の次世代への伝承と地場産業のさらなる発展に貢献する¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

本研究は平成22～23年度の事業であり、今

* 研究開発センター
** 下越技術支援センター
*** 企画管理室
**** 新潟大学工学部情報工学科

年度は、全体システムの確立を目指した。

2. 研究概要

2.1 金属製品を研磨した面の光沢測定に関する研究開発（熟練作業の評価基準も含む）

2.1.1 概要

研究計画では、金属製品の研磨部品について、JIS Z8741に準拠した光沢度計による光沢測定法に対して新規に考案した平行光源と光線空間カメラによる光沢分布特性測定法によって計測時間の短縮化と測定密度の向上を目指した。

2.1.2 提案システムの概要

提案システムは既存の光沢測定規格との互換性（測定値の一致など）を考慮した上で、非接触測定機能を実現することとイメージング機能つまり空間分布特性取得機能を付与することを目指して開発した。カメラには撮像素子として $2,560 \times 1,920 = 4,915,200$ 画素のCMOSイメージセンサが搭載され、その受光面に約6,000個の

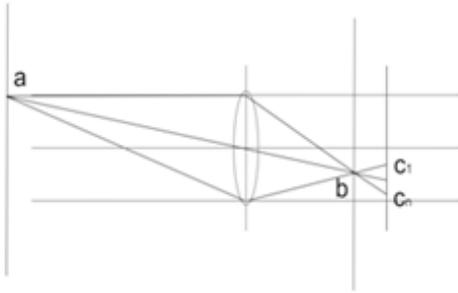


図1 結像光路

マイクロレンズがハニカム状に配置されたレンズアレイを搭載している。このマイクロレンズ毎に各微小部分（以下セルと言う）の光線方向と光線強度が約 530 画素（半径 13 画素の円状）に分離して取得される。図 1 に結像光路の模式図を示す、a 点の鏡像が中央の主レンズを介して b 点に結像する様子を示している。通常のカメラでは b 点を含む結像面に撮像素子を搭載するが、ここにマイクロレンズアレイが搭載されているため後方に再度光線を配光し C1~Cn の多画素として撮像する。

測定手順としては、まず照明系、受光系をセッティングし、校正基準となるミラー光沢基準板を撮像して基準値として保存する。次に測定対象を撮像して基準値（20° グロス値が 1,856 であり、光沢度は反射率にすると 92.8%）で除算して照明ムラや感度ムラなどの影響を除外する。基準値が 92.8% であるため除算後に 92.8% を乗算すると求める反射率が得られる。但し、測定単位は画素そのものではなく、約 6,000 個のセル単位である。

各セル単位には様々な光線方向からの輝度が約 530 画素に渡って分布しているため、ここから平均値、標準偏差、最大値、最小値を算出することとした。

2.1.3 実験結果

昨年度評価した熟練者と初心者の研磨サンプルを同様に撮像し、拡張ダイナミックレンジ処理⁵⁾と、校正処理を行い、その単純濃淡画像か

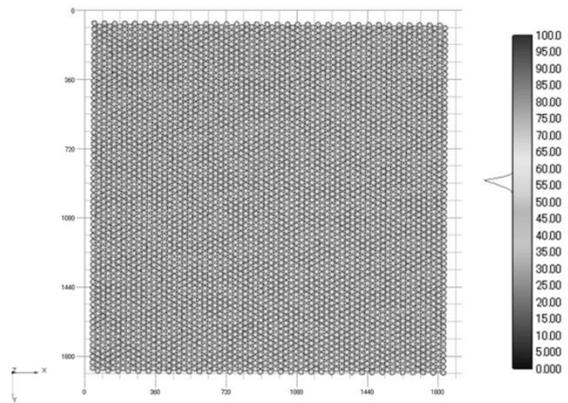


図2 熟練者の研磨結果

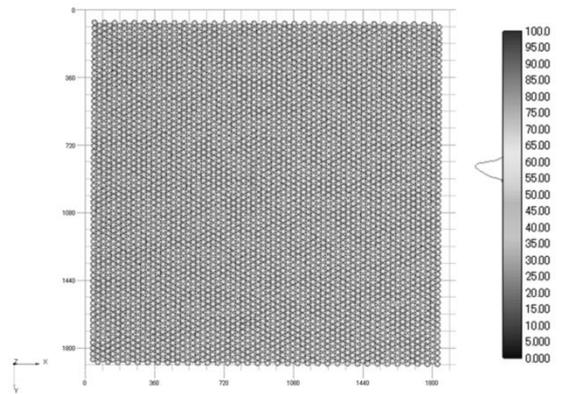


図3 初心者の研磨結果

表1 熟練者と初心者の光沢計測結果

		平均	標準偏差
熟練者	今年度結果	56.02	1.0966
	昨年度結果	56.07	0.2300
初心者	今年度結果	57.96	1.5271
	昨年度結果	56.57	0.8400

ら先ほど述べたようにセル単位の計算を行った結果を図2と図3にそれぞれ示す。また、熟練者、初心者の今年度と昨年度の反射率結果を表1に示す。今年度と昨年度の結果を比較すると、熟練者も初心者も平均値は概ね一致したことが分かる。また、図の右部分にカラーバーを示し各セル位置の色が鏡面反射率を表している。またカラーバーの左部には頻度分布を示している。

熟練者のほうが狭く尖った分布であり一様な研磨結果となっていることが分かる。

2.1.4 考察

提案した光沢度測定システムにより、小面積かつ平坦板に限られるものの1回の撮像で3分以内に4,000サンプル以上の反射率分布を測定できるようになった。現時点では1回の撮像面積が30mm×30mm程度であるため大面積に適用するには移動機構が必要である。また光沢度計と異なり非接触測定であるため将来的には大面積や造形物への適用にも可能性がある。

2.2 作業工具の刃先の三次元形状測定に関する研究開発

2.2.1 概要

ニッパの製造工程では、最後に熟練者がヤス

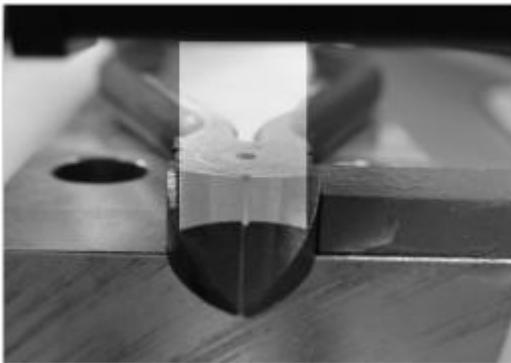


図4 開発したシステムでの三次元形状測定

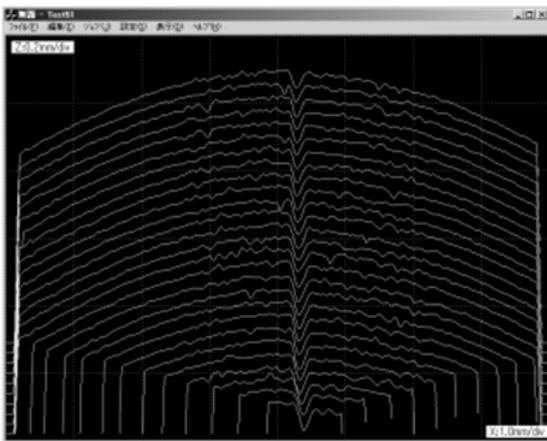
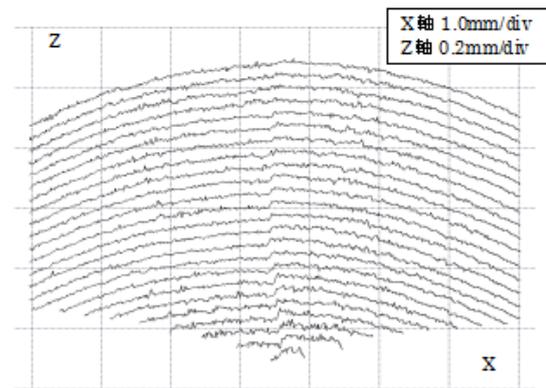


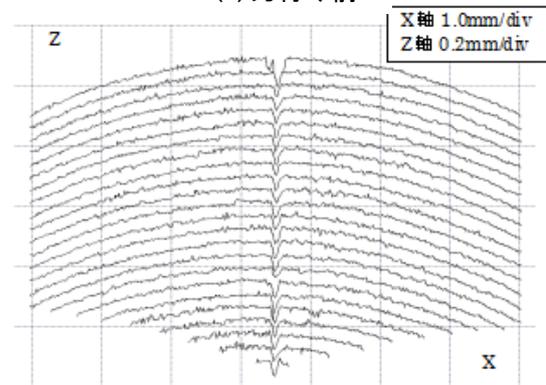
図5 三次元形状測定例

リがけをして刃の切れ味を整える刃付け作業を行う。これらの技能伝承を支援するために、刃先の三次元形状を高速かつ高精度に測定して表示するシステム⁶⁾を開発した。また、熟練者と初心者では刃先の形状がどう違うか調べ、熟練度を数値で表し、技能の習熟度を把握できるようにした。

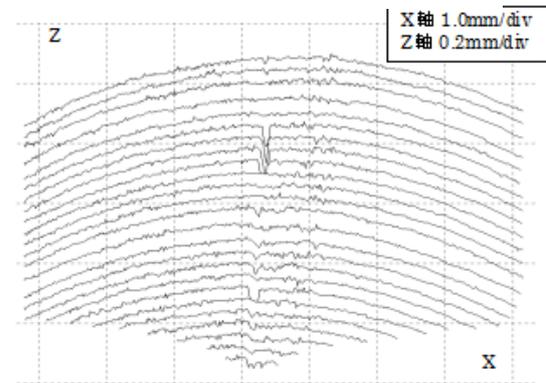
2.2.2 測定システムの構成



(a) 刃付け前



(b) 熟練技能者の刃付け後



(c) 初心者の刃付け後

図6 ニッパの三次元形状

開発したシステムでニッパの刃の三次元形状を測定している様子を図 4 に示す。1 軸方向に移動する電動シリンダー (IAI 製 ERC2) の上にニッパを設置し、少しずつ移動させながらその形状を高精度二次元変位センサ (キーエンス製 LJ-G015K) で測定する。パーソナルコンピュータにその結果を表示し、測定に要する時間は約 20 秒である。電動シリンダーを制御し、変位センサからの信号を取り込んで刃先の三次元形状を表示するプログラムを C 言語で作成した。三次元形状測定の結果例を図 5 に示す。

2.2.3 熟練度の評価基準

刃付け作業前と熟練者が刃付けした後および初心者が刃付けした後の、ニッパの表側の刃先の三次元形状の測定結果を図 6 に示す。図からわかるとおり、刃付け前は左右の刃に段差があるが、刃付け後はこの段差がなくなり、左右の刃の接するところが少し下がり鋭くなっていることがわかる。また、その下がり方も熟練者は刃全体で均一になっているが、初心者はばらつきがある。まさにこの部分が刃付け作業で作業者がヤスリをかける部分であり、この刃先の下がり方の均一さは熟練度により差が生じる。そのため、左右の刃が接する箇所での刃の形状の均一さを技能の熟練度の評価基準とする。この値が小さいほど熟練度は高い。

具体的な熟練度の計算方法を以下に示す。測定した刃先の三次元形状において、 N 個の波形の平均を式 (1) で求め、

$$\bar{f}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i(x) \quad (1)$$

各部の波形が平均波形からどれだけ異なっているか、左右の刃が接する前後 0.2mm の範囲の合計 d を (2) 式から計算する。

$$d = \sum_{i=1}^N \int_{-l}^l |f_i(x) - \bar{f}(x)| \quad (2)$$

この値が小さいほど、左右の刃の接する部分の

表 2 熟練度の計算結果

	サンプル番号	熟練度の評価基準
初心者	1	12.39
	2	16.38
	3	15.57
中級者	4	7.60
	5	8.53
	6	5.45
上級者 (熟練者)	7	4.13
	8	4.28
	9	4.25

形状は均一となり、作業者の熟練度は高いと言える。

2.2.4 熟練度の測定結果

初心者、中級者、上級者 (熟練者) がニッパの刃付け作業をした後の、刃の三次元形状の左右の刃が接する部分を比較すると、刃の形状は初心者ほどばらつきがあり、上級者ほど均一になっていることがわかる。また、中級者は形状が似ているもののくぼみの大きさが場所によって異なり、くぼみも大きい。一方、上級者はくぼみは小さく均一である。

式 (2) から計算した熟練度を表 2 に示す。初心者、中級者、上級者とも、3 丁ずつ測定した。技能が高いほど、左右の刃が接する部分の三次元形状が均一で、平均波形からの差分は小さくなった。中級者が刃付けをしたサンプル 6 は 5.45 と熟練度が高く、上級者に近い結果となった。

2.3 研磨と刃付け作業における人の動きと力のかけ方の測定に関する研究開発—マーカ式モーションキャプチャ

2.3.1 研磨作業システムの構成変更

バフ研磨作業における工作物 (ワーク) の動かし方と力加減 (力覚) をモニターする装置に

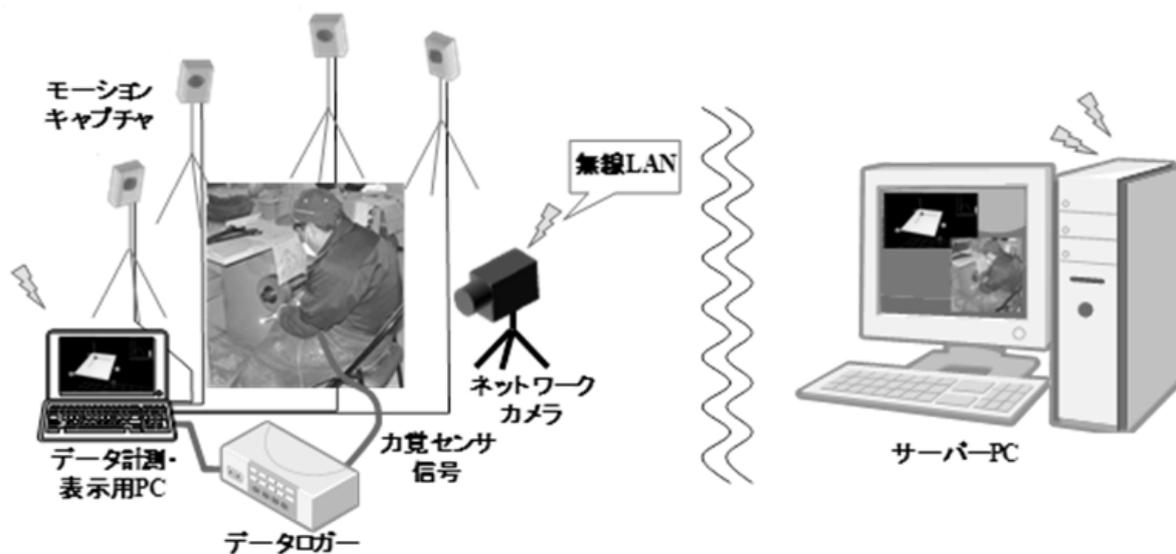


図7 研磨作業における遠隔技能伝承支援システム

ついてソフトウェアの改良を行い、前年度の課題であるデータ取得時間を短縮し、結果として1秒当たり30フレームの計測、およびリアルタイムでのワーク位置・姿勢、力覚、研磨推定量の結果表示を可能とした。加えて、バフ研磨作業における遠隔技能伝承支援システムとして、これらの情報を無線LANによって、ネットワークカメラを用いた作業時の動画像伝送と合わせて遠隔地のパソコンに伝送するシステムを構築した。図7に構築した研磨技能伝承支援システムを示した。

2.3.2 熟練作業の評価基準

熟練者と初心者による平板の研磨作業を比較することにより、両者の技能の特徴を調べた。両者のワークの動かし方のパターンが周期的であることに着目し、周期毎のワークへの作用荷重やバフに対するワークの姿勢の変動を評価した。その結果、作用荷重の垂直方向分力であるワーク押し付け荷重の大きさやその1周期内における変動、およびバフ研磨面に対するワークの傾きの変動が共に熟練者が初心者比べて大幅に少ないことが確認され。そのため、この場合の押し付け荷重およびその変動や、バフに対するワークの姿勢の変動の大小が熟練度の評価

基準となると考えられた⁷⁾。

2.3.3 遠隔技能伝承支援システムの開発

自習も可能な技能継承支援システムの開発を考慮すると、前節で示した評価基準パラメータを直接数値データやグラフにより表示しても研修生や指導者に直感的に情報が伝わるとは言い難く、自らの作業状態を把握するためにはより直感的な教示方法が求められる。昨年度において提案した研磨量推定値の分布は、仕上がりの良否がワークの各領域を如何に均等に、かつ均一の力でバフに接触させるかに起因するとの仮説を基に、モーションキャプチャで測定したバフに対するワークの位置からワークーバフの接触領域を求め、さらにその際にワークに作用する力を考慮することによって、作業中におけるワーク各領域の研磨量を推定するものである。例えば、熟練度の評価基準とした押し付け荷重やワーク姿勢の変動は、ワーク全体における研磨量推定値の不均質な分布の要因となり、また過大な押し付け荷重は研磨量推定値の増加として表されることから、研磨量推定値分布は評価基準を反映しうると判断される。かつ、研磨量推定値分布は画像情報として認識され、さらには分布の色や均一度といった単純な情報で作業

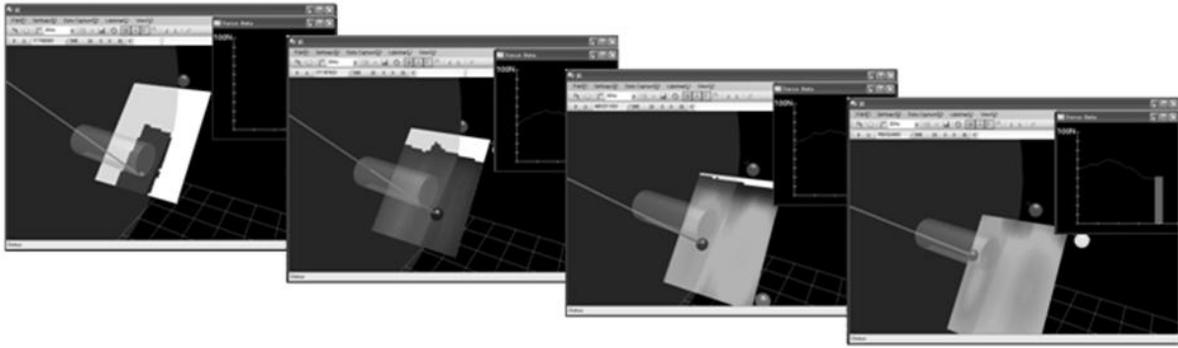


図 8 作業計測画面の一例

状態を把握できることから、初心者や熟練者に対し直感的に理解を促すものであり、教示情報として有効であると考えられる。以上のことから、先に示した作業計測システムにおいても計測中において研磨量推定値分布（瞬間値および積算値のいずれか）をリアルタイムに計算し、図 8 に示すようにワークの姿勢や力覚情報と併せてコンピュータ画面上に表示できるようにした。

改良した作業計測システムにより研磨加工の現場で実際に作業測定を行い、作業者から意見を伺ったところ、熟練者・初心者とも自分の力加減が適切であるか、また、均等にワークを研磨できているかを容易に理解できるとの評価を得た。

2.4 研磨と刃付け作業における人の動きと力のかけ方の測定に関する研究開発—マーカ無しモーションキャプチャ

2.4.1 熟練手作業

マイクロニッパの製造工程における熟練者の手作業である、刃付け作業に注目した。刃付け作業は最も熟練者の作業が必要な工程である。この工程は、円滑調整、目視検査、切れ味検査および刃の修正という 4 つの作業単位の組み合わせから構成されている。円滑調整では、ニッパの開閉がスムーズに行えるよう、左右のアームを留めているリベットをハンマーで叩いて調整する。目視検査では、ニッパを閉じたとき、二つの刃の一致・不一致を判定する。切れ味検

査では、銅線を試し切りし、切れ味により刃のスキマやかぶり具合を調べる。これらの検査で刃の不具合が見つければ、砥石により刃の修正を行う。このとき、刃に対する砥石の当て具合、こすり具合が重要である。これらの作業単位を繰り返しながら、初心者は 2~3 分、熟練者なら約 1 分で刃付け作業を終える。

2.4.2 手のモーションキャプチャ

ニッパの製作工程のなかで、刃付け作業における手・指の動きを測定することにした。人間の動作を測定し、コンピュータグラフィックスにより再現するシステムはモーションキャプチャと呼ばれている。身体の腕や脚の動きを測定するモーションキャプチャ⁸⁾は多く見られるが、今回は手・指の動きを測定するモーションキャプチャ⁹⁾を開発することとした。

2.4.2.1 作業環境

作業者は立位で作業機に向かう。作業机上には、万力、砥石、ヤスリ、金床、ハンマー等の工具が置かれている。作業機は上方から十分な明るさの蛍光灯が照射されている。また、前方にも蛍光灯が置かれ、目視検査に利用される。作業者は軍手を付けて作業を行う。両手の作業空間は約 50 センチ立方メートルである。

手・指の動きを測定するモーションキャプチャとして、データグローブが市販されているが、特殊なセンサやデバイスを装着することは、微妙な熟練作業に過剰な負担を負わせる恐れがあるため、ビデオカメラによる非接触測定を試み

ることとした。

指の動きを三次元的に測定するためには、複数の視点に配置されたビデオ映像が必要となる。特に、ワークや工具、他方の手により手・指が隠されることもある。そのため、出来るだけ多くのビデオカメラを配置するのが良いが、照明器具の配置も重要であり、設置台数や位置も制限される。

熟練者は初心者比べて約2倍の作業量をこなす。そのため、手や指の動きはかなり速い。ビデオ映像から手・指を確実に追跡するためにはフレーム間の動きが小さい方が良い。通常ビデオ映像は秒間30フレームであるが、この撮影速度ではフレーム間でかなりの大きさの手の動きが見られた。そこで、秒間120フレームが撮影可能なビデオカメラを購入し、使用することにした。

撮影のフレームレートが高くなると、フリッカーが問題となる。そこで、この問題を回避するために、照明を全て高周波点灯（インバータ点灯）とした。

図9は、刃付け作業を行っている作業環境の全景である。画面中央からやや右寄りに熟練作業者が後ろ向きに立って作業を行っている。カメラは、正面に1台、ステンレスパイプ枠に取り付けられた2台のカメラが上方向から撮影している。作業者の左手には3台、右手には2台のカメラが三脚に載せられて配置されている。作業者前方に下にスキマ検査用の蛍光灯、上方



図9 作業環境の様子

の蛍光灯に加え、天井に近い位置からハロゲンランプを使って作業机を照射している。

2.4.2.2 多視点カメラシステム

高速度 IEEE1394 ビデオカメラ (Flea3, Pont Gray) 8台をパーソナルコンピュータ (Windows 7, 64bit, Intel Core i7) に4枚のPC拡張ボードを介して映像を入力している。秒間120フレームの画像が8台のカメラから撮られる。画像はカラーでサイズは640×480画素256階調である。情報量が非常に多くなるため、動画をメモリに一時的に蓄積し、HDDに転送した後、オフラインで動画の解析を行うこととした。パーソナルコンピュータには64GBのメモリを搭載している。メモリにはRAW画像で保存されるため、約20,000フレームの画像が保存可能である。これは約3分の動画が保存可能であり、熟練者の作業時間が約1分、初心者の作業時間が約2分であるので、両者の実演を1度に録画可能である。

2.4.3 手のモデルベーストラッキング

身体が多関節物体の動作解析は、身体の三次元多関節モデルを画像に照合させることが一般的である。ここでは、手の多関節モデルを多視点画像に照合させることにより、手の三次元姿勢を得る。刃付け作業では、背景が作業者の衣服であり、工具が乱雑に置かれた作業机であり、さらにその背景自体も変動する。手が工具やワークを握るとき指先が隠されることも多い。これらの影響で、これまでの画像認識手法による手・指の自動認識は難しいため、画像上の指の位置を教示することにした。

多視点からの画像上でそれぞれの指の位置が得られたら、手・指の三次元姿勢が決定できる。画像フレームの順番に三次元姿勢が得られれば手・指の動作を追跡したことになる。ここで、動画解析ではキーフレームで身体の三次元姿勢を与えることが出来れば、キーフレーム間は比較的容易に自動追跡が可能であるため、本研



図 10 手の動作の追跡結果

究では、この手法を手の動作解析に使用する。すなわち、キーフレームで指の姿勢を教示しキーフレーム間は自動追跡を行うことにした。

2.4.4 追跡結果

熟練者の刃付け作業を追跡した結果を図 10 に示す。刃の修正を行っている。全部で 460 フレームのうち 1 コマである。右手のモデルが赤いワイヤフレームで表示されている。

モデルが全てのカメラからの手の画像と一致しているので、手の姿勢は三次元的に正確に得られている。このモデルは掌を最上位の部位とする多関節構造である。掌から指先に至るリンク構造では、関節の開き角度によって手の姿勢が、また、その時間変化により手の運動が定量的に記述されている。



図 11 距離画像による動きの追跡結果

2.4.5 リアルタイムトラッキング

より高速なモーションキャプチャを実現するために、距離画像データを解析して動作を計測した。距離画像を取得には、距離画像センサ Kinect（日本マイクロソフト（株））を使用した。解像度が 640×480 ピクセルで距離分解能も数ミリメートルと高性能である。また、人体、胴、腕、脚の動きを計測する機能もあるが、今回は研磨用の金属製平板の動きを計測するプログラムを作成した。動きの追跡結果の一例を図 11 に示す。隠れない理想的な状態での計測であるが、毎秒約 10 フレームの計測を行うことができた。さらに高速な計測を行うためには、マルチコア CPU の PC や GPU による並列処理が必要になる。

2.5 まとめ

以上、各要素技術についての成果を述べた。各要素技術については、おおむねほぼ目標が達成できた。研究開始当初は、これらの各要素技術をまとめて遠隔技能伝承システムを構築することを想定していた。しかし、研究を進めていくなかで、本研究において作業対象とした、研磨作業に対して、最適な要素技術を取捨選択して組み合わせることで、システムを構築することが適切であるとの判断にいたった。そのため、上述の 2.3 で述べたシステムを構築することで、遠隔技能伝承システムとした。また、これを用

いた実証試験を行った結果、熟練者、初心者のいずれも当該作業に関わる方々から「作業がわかりやすく表現されている」と好評を得た。

このように、技能の伝承に必要な情報を可視化し、客観的な表現を加え、かつ、ICTを適用することで、遠隔地においてもほぼリアルタイムで、同様の画面を確認できるようにすることが可能となった。これをもって、技能伝承の期間短縮を想定しているが、実際の期間計測には、まだ時間がかかるため、具体的な短縮度合いの確認は今後の課題としたい。

3. 結 言

- (1)輝度分布画像から局所平均反射率分布、局所拡散率分布、光沢方向分布を算出する方法を考案し、従来の方式に比べて10分の1以下の測定時間で、より多彩な情報を精細に取得できることが可能となった。
- (2)作業工具のニッパの製造工程において、刃先の三次元形状を計測解析し、その熟練度を数値化した。
- (3)バフ研磨作業における遠隔技能伝承支援システムとして、これらの情報を無線LANによって、ネットワークカメラを用いた作業時の動画伝送と合わせて遠隔地のPCに伝送するシステムを構築した。
- (4)刃付け作業において多数カメラの同時撮影で行ったマーカー無しモーションキャプチャーでは、技能伝承に必要な手作業に絞った解析を行い、8台のビデオカメラから秒間120フレームの高速度画像入力を達成した。
- (5)研磨作業において、距離画像センサを用いてマーカー無しモーションキャプチャーを行い、1秒当たり10フレームのモーションキャプチャーが可能となった。マルチCPUのコンピュータで並列処理を行えば、1秒当たり20フレームのモーションキャプチャー

が行える見通しが立った。

なお、本研究は、平成23年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)の委託を受けて行った。

参考文献

- 1) 五十嵐, 大野, 他, “新潟の匠の技を継承し発展させるための計測と制御に関する研究調査”, 工業技術研究報告書, 37, 2008, p.24-26.
- 2) 五十嵐, 大野, 他, “匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発”, 工業技術研究報告書, 38, 2009, p.62-66.
- 3) 五十嵐, 今泉, 他, “匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発(第2報)”, 工業技術研究報告書, 39, 2010, p.75-79.
- 4) 五十嵐, 今泉, 他, “ICTを活用した遠隔技能伝承アシストシステムに関する研究開発”, 工業技術研究報告書, 40, 2011, p.38-40.
- 5) 阿部, “露出ブラケット画像融合による拡張ダイナミックレンジ画像の生成”, 電子情報通信学会信号処理シンポジウム, 2011, p.274-278.
- 6) 大野, 五十嵐, “レーザ変位センサを利用した刃付け作業の技能伝承支援システムの開発”, ビジョン技術の実利用ワークショップ, 2011, p.163-164.
- 7) 中部, 五十嵐, “バフ研磨作業における技能伝承支援システムに関する研究”, 日本機械学会 SHD2011, 2011, p.476-480.
- 8) 佐藤, 山本, 他, “多視点カメラモーションキャプチャーによる熟練技能センシング”, 2011年電子情報通信学会総合大会, 2011, p.179.
- 9) 大澤, 山本, “多視点高速度カメラによる熟練手作業のモーションキャプチャー”, 電子情報通信学会総合大会, 2012, p.167.

インコネル 718 に対するボールエンドミル加工の 切削シミュレーション (第 2 報)

須貝 裕之*

CAE Analysis about Cutting of Inconel718 by Ball-nosed endmill (2nd report)

SUGAI Hiroyuki*

抄 録

市販の切削シミュレーションソフトウェアを用いて、ボールエンドミルによる Ni 基超耐熱合金インコネル 718 の高速切削加工を解析した。既報¹⁾ではソフトウェアの標準条件で解析を行い、切削シミュレーションの基本的な解析特性について検証した。本報では、実際に切削実験を行っている市販ボールエンドミル工具を対象として切削シミュレーションを行い、その結果について検討した。併せて、実験において切削速度の増加に対して切削抵抗が低下する切削条件を解析し、実験と同じ現象が発現するか検証した。それぞれの検討結果をまとめると、ボールエンドミル工具によるインコネル 718 の切削については、切削速度の増加に伴って工具刃先の温度分布が高温になるとともに、熱の拡散時間が短くなるため高温領域が狭まってゆくことを確認した。また、切削速度の増加に対する切削抵抗減少については、わずかな切削抵抗減少は認められたものの、実験と同じ現象を完全に再現するまでには至らなかった。

1. 緒 言

従来、切削条件や工具形状を検討するため、切削中の工具などが受ける応力や温度を測定する方法が数多く試みられてきた。しかし、切削現象は工具刃先の微細領域において温度やひずみが極めて短時間で急激に変化する現象であり、これを詳細に測定することは現時点においても容易ではない。一方、現実の物理現象をコンピュータにより計算する CAE (Computer Aided Engineering) は、1950 年頃の航空機設計のための構造解析を出発点として、その後のコンピュータのめざましい計算能力向上とともに、その解析領域を広げてきた。近年では、切削のような極めて非線形性が強い現象に対しても解析が可能な動的陽解法による CAE ソフトウェアが登場している。

既報¹⁾ではソフトウェアの基本的な解析特性

* 研究開発センター

の検証と従来の実験結果に対する解析結果の比較、ボールエンドミルとスクエアエンドミルの切削特性の違いについて調べた。本報では、実際の切削に近い条件におけるボールエンドミルによるインコネル 718 の高速切削を解析し、切削現象の分析や最適加工条件等の導出に利用可能かを検証する。

2. 解析ソフトウェア

解析にはアメリカ THIRD WAVE SYSTEMS 社が開発した金属切削用有限要素法プログラム AdvantEdge を使用した。AdvantEdge は切削シミュレーション専用のソフトウェアであり、様々な切削現象を計算できる。図 1 にソフトウェアの画面を示す。このソフトウェアは、汎用の CAE ソフトウェアと異なり、解析者が解析モデルの要素分割や境界条件の設定を意識することなく計算ができるよう配慮されている。

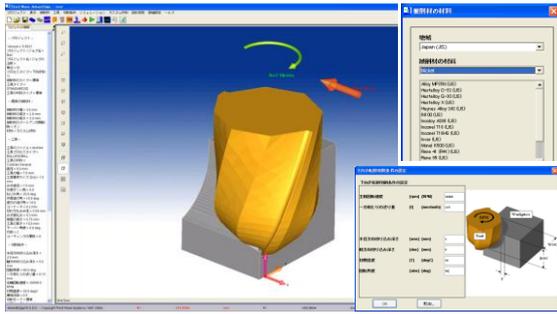


図1 ソフトウェアのメイン画面

その一方、材料特性に関しては、具体的にどのような値が定義されているかは非公開であり、使用者が直接確認することはできない仕様となっている。

3. 解析結果

3.1 市販ボールエンドミル工具によるインコネル 718 の切削

ここでは、本研究の切削実験で使用している

市販のボールエンドミル工具によるインコネル 718 の切削シミュレーションを行った。図 2 に解析における工具の形状を示す。工具の仕様と切削条件を表 1、表 2 にそれぞれ示す。既報¹⁾で行った標準条件工具による切削と比較をするため、主軸回転速度を同じにしてシミュレーションを行った。この条件では、切り込みと工具の直径、刃数が異なる以外は、ほぼ同じ切削条件となっている。

図 3 に主軸回転速度 20000min^{-1} の場合の計算結果を示す。工具の回転に伴い切りくずが飛散する様子が再現されている。図 4 に切削時の最高温度と切削抵抗の時間変化の計算結果を主軸回転速度毎に示す。切削中の最高温度は一刃毎の切削に伴って上下する。最高温度は主軸回転速度の増加に伴って 5000min^{-1} の 1000°C から増加して行くが、 20000min^{-1} で 1200°C に達した後は、主軸回転速度が増加してもほとんど上昇

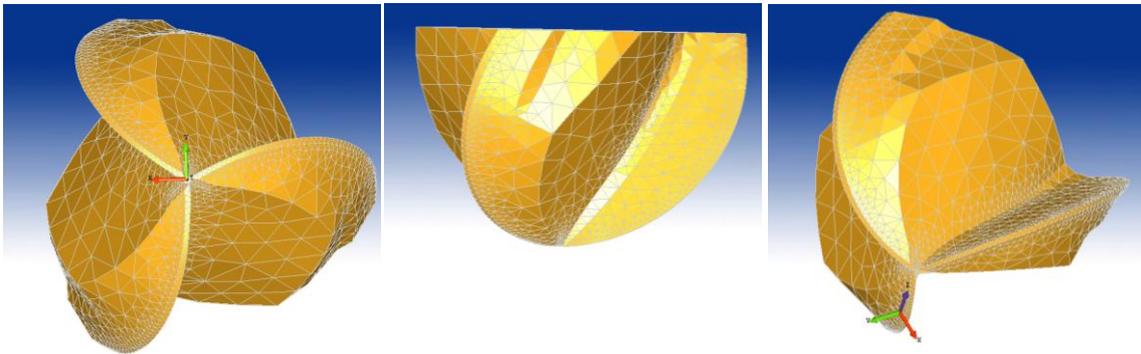


図2 市販ボールエンドミルの解析モデル形状

表1 工具の仕様

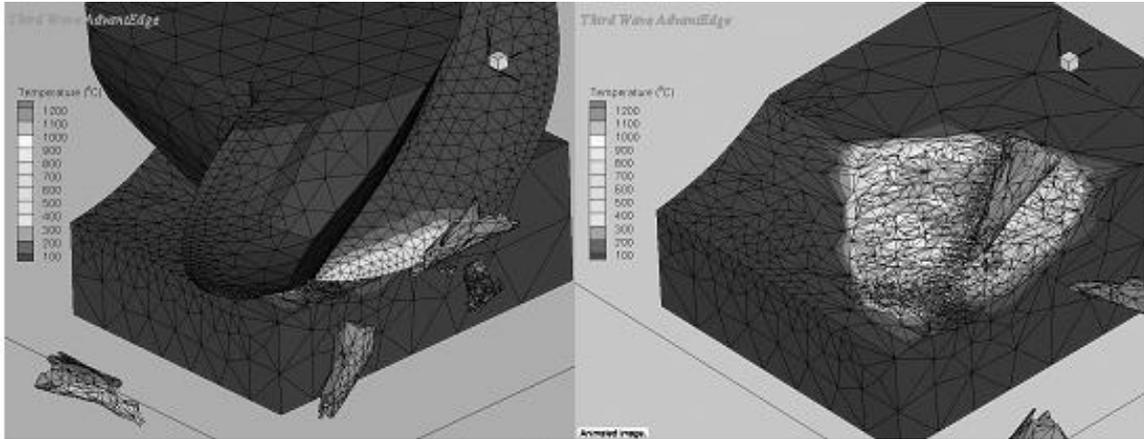
	前回の報告	本解析
直径	8 mm	10 mm
刃数	2	3
ねじれ角	20°	30°

表2 切削条件

		前回の報告	本解析
被削材		インコネル 718	
初期温度		20°C	
主軸回転速度		5000, 10000, 20000, 40000 min^{-1}	
一刃当たりの送り		0.15 mm/tooth	
切込み	軸方向	5 mm	1 mm
	半径方向	2 mm	
切削方式		下向き削り	
冷却		乾式切削	

しない。一方、切削中の最高温度が最も低くなる
ときの値は、主軸回転速度の上昇に伴って
徐々に増加し、 20000min^{-1} を超えても頭打ちの
傾向は顕著には見られない。切削抵抗に関して

は、主軸回転速度が低いときには値の振幅が極
めて大きく正確な値を求めることは困難である
ものの、主軸回転速度の上昇に伴って低下する
傾向は明確には見られない。



(a) 工具，切りくず，被削材を表示 (b) 工具非表示，切りくずと被削材のみ表示
図3 計算結果の一例（切削時の温度分布）

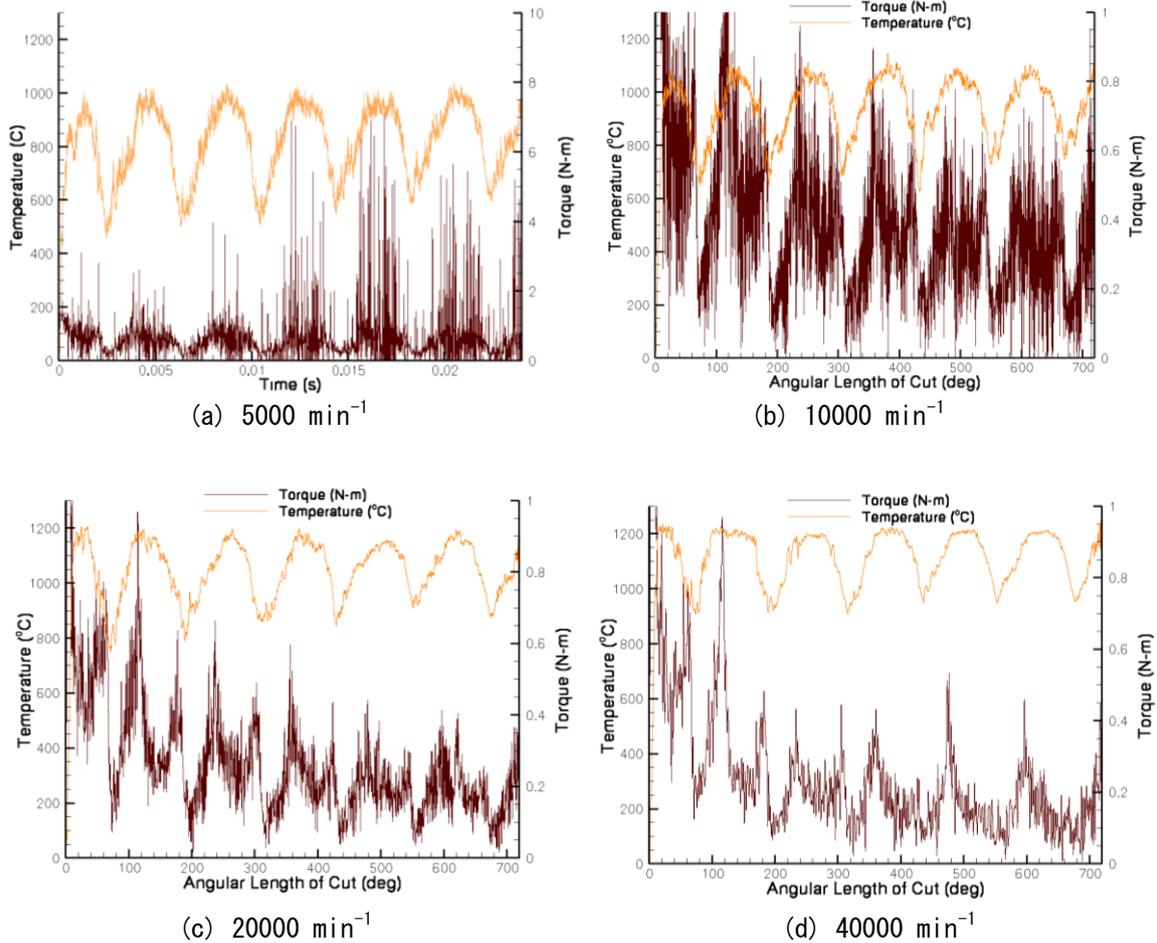


図4 切削時の最高温度と動力の時間変化

図5に切削中に工具の刃先温度が最も高くなった瞬間（切削開始から864°回転）の温度分布を主軸回転速度毎に示す。主軸回転速度の増加に伴って刃先の最高温度が増加している。主軸回転速度が5000 min⁻¹、10000 min⁻¹、20000 min⁻¹、そして40000 min⁻¹に増加するに従って、最高温度も約1000℃、1100℃、1200℃そして、1200℃を超える値まで増加している。一方、主軸回転速度の増加に伴い、工具刃先の高温度領域は狭まってゆく。このように主軸回転速度の増加に伴って最高温度が増加し、高温領域が狭くなる原因としては以下が考えられる。

主軸回転速度の増加により一刃が切削を行う時間は短くなる。これに対して、一刃が切削を行う際に発生する発熱量が同じだとすれば、熱が拡散する時間が短くなる分だけ最高温度は増加し、その領域は狭くなる。前述の切削時の最高温度と動力の時間変化において、切削中に最高温度が最も低くなる時の値は、主軸速度の増加に伴って徐々に増加すると述べた。これに関しても主軸回転速度が速くなるほど、切削を終えた切れ刃（図5各図の左下の刃先）の温度が高くなっていることから明らかなように、切削を終えた刃先が冷却される時間が短くなるためこのような現象を生じていると考えられる。

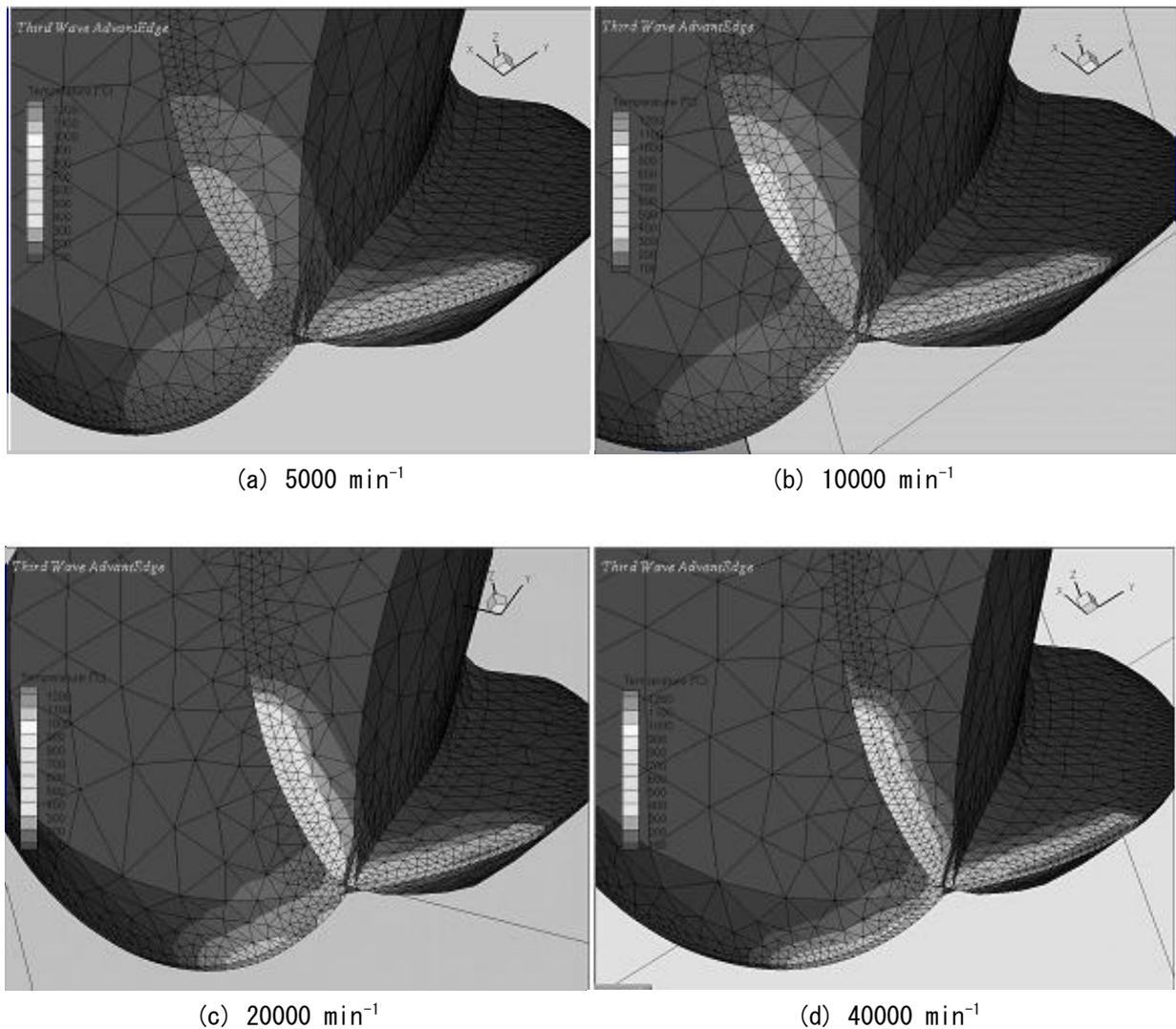


図5 工具の刃先温度分布

3.2 切削速度の増加に対する切削抵抗減少

高速切削の特徴の一つに、切削速度の増加に伴う切削抵抗の減少がある。既報¹⁾はソフトウェア標準の工具形状と切削条件でインコネル718の切削シミュレーションを行い、シミュレーションにおいても主軸回転速度の上昇に伴って切削抵抗が減少することを確認した。しかし、既報の切削条件は、実際の切削条件と比較して切り込みや主軸回転速度が大きく異なっている(表3)。ここでは、実際の切削条件と同じ条件でシミュレーションを行い、切削速度の上昇に伴う切削抵抗の減少が再現されるか調べた。なお、インコネル718を切削する今回の研究においては、主軸速度と切削抵抗の関係を調べた詳細なデータがないため、嶽岡がボールエンドミルを用いてプリハードン鋼を切削した実験結果²⁾をもとに、これをシミュレーションにより計算して比較した。表4、表5に工具の仕様と切削条件を示す。実験に使用した被削材は(株)日立金属製プラスチック金型用プリハードン鋼 HPM1 (41HRC)であるが、切削シミュ

レーションソフトウェアには同種の材料が登録されていないため、比較的近いと思われるSKD61 (44HRC)を用いた。それ以外の工具形状や切削条件は可能な限り実験に合わせた。

計算結果を図6に、また実験とシミュレーションによって得られた切削抵抗と主軸回転速度の関係を図7に示す。図7より実験条件と同じ条件で行ったシミュレーションでは、各分力の大小関係は

$$\text{主分力} > \text{送り分力} > \text{軸方向分力}$$

となり、実験と同じ傾向を示しているものの、主軸回転速度の上昇に伴う切削抵抗低下の現象は再現されていない。また切削抵抗の絶対値もシミュレーションの方が2~3倍程度大きな値となっている。前回の報告における大きな切り込み量と高い主軸回転速度では、切削抵抗低下の現象がシミュレーションにおいて確認されているにもかかわらず、今回の条件では確認されなかった。このことから、切削シミュレーションソフトウェアの計算アルゴリズムがボールエ

表3 切削条件の違い

	前回報告のシミュレーションにおける切削条件	実際の切削条件
工具	ボールエンドミル 材種 超硬, 直径 8 mm, 2 枚刃	ボールエンドミル 材種 超硬, 直径 6 mm, 3 枚刃
主軸回転速度	5000~40000 min ⁻¹	2420~14600 min ⁻¹
一刃当たりの送り	0.15 mm/tooth	0.05~0.18 mm/tooth
軸方向切込み	5 mm	0.3 mm
半径方向切込み	2 mm	0.5~0.8 mm

表4 工具の仕様

工具	ボールエンドミル 材種 超硬
直径	2 mm
刃数	2
すくい角	5°
ねじれ角	20°

表5 切削条件

被削材	SKD61(HRC44)	
初期温度	20 °C	
主軸回転速度	5000, 10000, 20000, 30000, 45000 min ⁻¹	
一刃当たりの送り	0.1 mm/tooth	
切込み	軸方向	0.5 mm
	半径方向	0.5 mm
切削方式	下向き削り	
冷却	乾式切削	

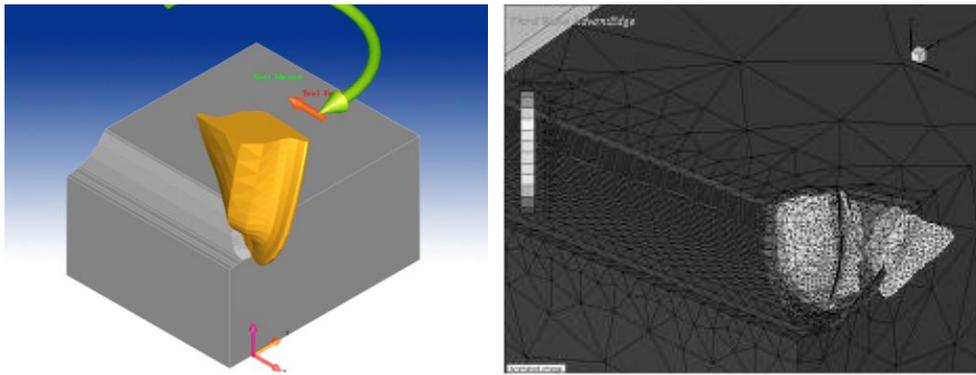


図6 シミュレーションモデルと切削時の温度分布例

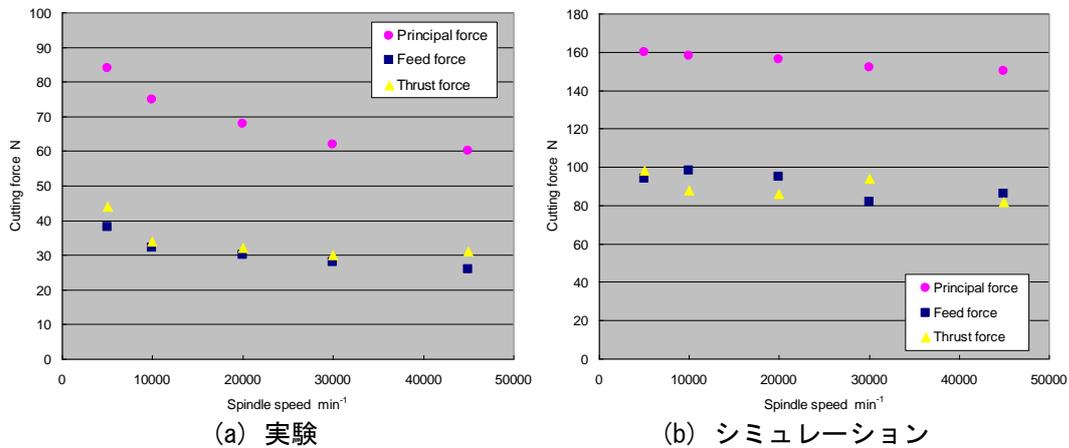


図7 実験とシミュレーションにおける主軸回転速度と切削抵抗の違い

ンドミルを用いた低切り込み、高送りの高速切削に対応していないことが原因の一つと考えられる。従って、現状では小径ボールエンドミルを用いた高速切削に対して、実現現象を定量的に再現しているとは言い難い。ただし、工具形状を変更した場合の効果など定性的な評価を行う場合や、切削時の刃先の温度変化等実測が困難な評価を行うにあたってはその有効性を発揮できる機会も十分にある。

4. 結 言

切削シミュレーションソフトウェアによってインコネル 718 の切削を解析した結果を下記にまとめる。

- (1) 市販の工具を対象として主軸回転速度を変化させて切削シミュレーションを行い、切削速度の上昇に伴って工具刃先の温度分布が高温になるとともに、熱の拡散時

間が短くなるため、高温領域が狭まってゆくことを確認した。

- (2) 現状の切削シミュレーションは、本研究で行っている小径ボールエンドミルによる低切り込み高送りの高速切削を完全に再現できるまでには至っていない。しかしソフトウェア開発元ではこの原因を検討中であり、将来的には改善されることが期待される。

参考文献

- 1) 須貝裕之, “インコネル 718 に対するボールエンドミル加工の切削シミュレーション (第 1 報)”, 新潟県工業技術総合研究所 研究報告書 No.40 平成 22 年度, 2010, p8.
- 2) 嶽岡悦雄, “高速空気静圧主軸による高硬度材のエンドミル加工に関する研究”, 東京大学博士課程学位論文, 1998, p75.

木材の新たな利用分野を開拓するための プレス加工技術の開発

内山 雅彦*

Development of a Press Processing Technology for New Applications of Wood

UCHIYAMA Masahiko*

抄 録

高い成形性と加工時間の短縮化を併せ持った木材の塑性加工法を開発するために、アクリル系樹脂と木材との複合体である含浸型 WPC を使用し、含浸された樹脂の熱可塑性を利用した加熱成形技術の研究を行った。成形方法は加熱パンチによる 3 点曲げ法と、木材では例の少ないカール加工法で行ない、特にカール加工において小径曲げ加工への有用性が確認できた。また、この条件をもとに、実用化を見据えたカール曲げ加工装置を試作し製品レベルでの試験を行った結果、高い成形性と加工時間の短縮化などが確認できた一方で、実用化に対するいくつかの問題が明らかになった。

1. 緒 言

金属やプラスチックの加工現場で一般的に使用されているプレス成形などの塑性加工技術は、木材加工を行う技術者にとっては非常に魅力的な加工技術である。昨今、エコ材料の代表として認知されている木材ではあるが、切削加工が容易な材料の特性から加工方法は鋸や鉋に代表される切削法が中心であり、加工現場では多くの端材や切削屑などの無駄が生じているのが現状である。木材の塑性加工が進まない原因としては大きく 2 つの問題がある。一つ目は、木材の成形性を良くするための軟化と、形状を維持させるための固定化に時間がかかることである。二つ目は、木材は延性が小さいため、トーネット法のように、外周の伸びを抑え内側を圧縮させることで曲げ加工を行なう必要があることである¹⁾。この方法では、木材の引張側に帯金を沿わせ、中立軸を内側に移行させるなどの処置が必要のため手作業が中心となり、大量生産には向かない。木材の曲げ加工は非常に魅力的な技術ではあるが、これらの問題により現場では手軽に使える技術となっていない。

本研究では、木材の塑性加工をより発展させ、加工現場での実用化を図るために、木材と熱可塑性樹脂の複合体である含浸型 WPC (Wood Plastic Combination) を使用し、含浸樹脂の熱可塑性を利用して軟化、冷却時間の短縮化を図り、さらに木材には実績の少ないカール加工法などを試みることで、小半径の曲げと短時間加工法の開発を目指すこととした。また、この手法を用いた WPC の曲げ加工装置を試作して、実用化を見据えた成形試験を行ったので報告する。

なお、この研究は平成 22~23 年にかけて、新潟県創造的研究推進費により実施したものである。

2. 試験方法

2.1 試験に使用した WPC 材料

試験に用いた樹種はスギ、イタヤカエデ、オニグルミ、ブナであり、新潟県魚沼市近郊のものを使用した。WPC 処理については、(有)貫木産業に処理を依頼し、含浸樹脂はアクリル系モノマーを選定した。含浸条件を同一にした結果、ポリマー含量²⁾は重量比でスギが 142%、イタヤカエデが 66%、オニグルミが 70%、ブナが 50% となった。

* 下越技術支援センター

2.2 軟化温度の設定

セイコーインスツルメンツ（株）社製熱機械測定装置 TMA/SS6000 を用いて WPC のガラス転移点を求めたところ、110℃付近で著しく強度の低下が見られたため、軟化温度はこの温度を目安とした。

次に WPC 試験片の裏面への温度の伝わり方の測定方法を図 1 に示す。試験は、3 点曲げ法により、4mm 幅の角型パンチを加熱したものを、1.5mm (T) のイタヤカエデ WPC 試験片に接触させ、裏面の温度上昇を測定した。結果を図 2 に示す。裏面温度が軟化温度の目安となる 110℃

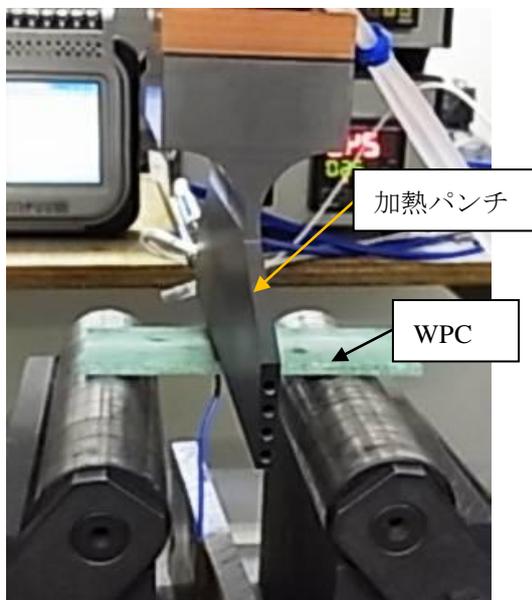


図 1 裏面への温度の伝わり方の測定

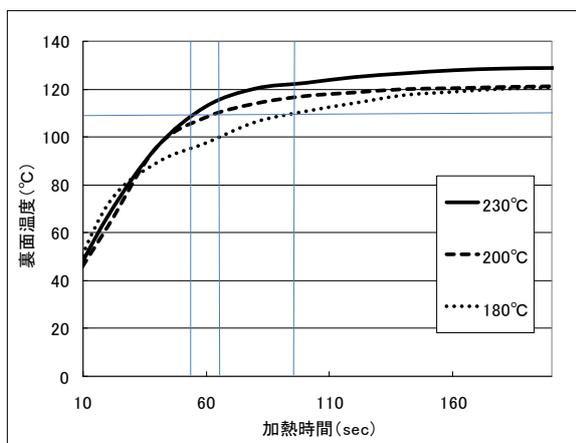


図 2 裏面の温度測定結果

に到達した時間は、加熱パンチ温度 230℃では約 50sec、200℃では約 70sec、180℃では約 90sec となったが、230℃ではパンチ接触部分が焦げるため、以降で説明する成形試験には最も早く温度を上げることができた 200℃の加熱条件を用いて試験を行った。

2.3 加熱パンチによる曲げ試験

半径 R=6~12.5mm(以下 R6~12.5mm と表示する)の加熱パンチを使用して、3 点曲げによる WPC の曲げ試験を行った。WPC は 15mm(W) × 1.5mm (T) の大きさのものを使用し、割れを防ぐため試験片の下側に 0.1mm (T) のステンレス板を 10 枚重ねて、パンチに対向しながら密着して加圧できるように工夫した。下部の支点は R15 で、クリアランスは 1mm とした。曲げ試験の条件は、200℃で加熱したパンチを 10N の荷重で押しながら 70sec 予備加熱した後、精密万能材料試験機（（株）島津製作所製 AG-100KNG-M）により 10mm/min のスピードで試験を行った。

2.4 カール加工ジグを用いた曲げ試験

カール加工は、試験片を押し込む抵抗により絶えず試験片に圧縮応力が加わり、この応力をクリアランス量や試験速度の変化により調整することで、曲げ加工の際に内側部分の圧縮変形を起こし易くする特徴がある。また、カール加工処理ではジグのクリアランスが小さくなることから熱以外の軟化条件を行うことが難しく、さらに、押し込み抵抗に試験片が耐えなければならないことから、曲げ加工直前まではある程度の材料強度が維持できていることが好ましい。WPC は加熱により軟化することが可能で、通常の木材よりも高い強度を有していることから、この条件に適している材料として期待した材料である。試験片には 1.5mm と 3.0mm (T) のオニグルミとイタヤカエデの WPC を使用した。図 3 にカール加工用ジグによる試験状況を示す。

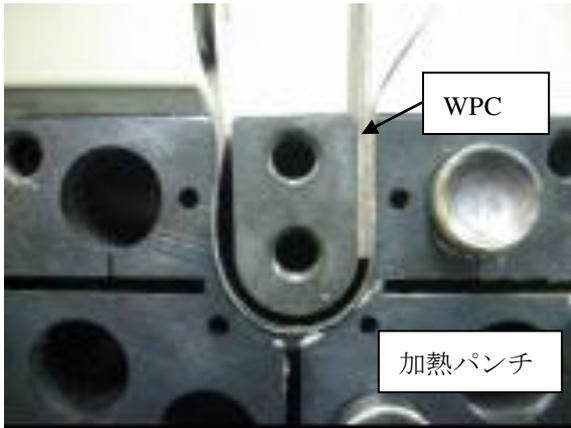


図3 カール加工ジグによる実験状況

1.5mm (T) の試験片は R3~7 の曲率で、3.0mm (T) の試験片では R9~10 の曲率で試験を行った。試験速度は 30~100mm/min とし、ジグと試験体のクリアランスは 0~0.3mm で行った。

2.5 温度および湿度に対する安定性

加熱パンチを用いた 3 点曲げにより R12.5 で成形したイタヤカエデ WPC と、蒸煮処理により軟化させ、同曲率で成形したイタヤカエデの無処理材を、20°C-40%RH で 24h 養生した試験片を用いて、温度と湿度による形状の安定性についての評価を行った。温度条件は 40°C, 60°C, 80°C の順に温度を上昇させ、それぞれの環境で 2h 処理した。また、湿度条件は、養生した試験片を 20°C-90%RH に 5h, 次に 20°C-40%RH に 17h で処理することを 1 サイクルとして、これを 2 サイクル繰り返した。温湿度試験は楠本化成 (株) 製 恒温恒湿槽 HIFLEX FX714P を使用した。成形状態の安定性の評価は、オリンパス光学工業 (株) 製の工具顕微鏡 STM5-LM により、試験片の開き角度を読み取り評価した。

3. 結果と考察

3.1 加熱パンチによる曲げ試験

加熱パンチによる曲げ試験の結果を表 1 に示す。試験片は各 3 試料として、ひび割れなどの欠損がまったく生じないものを目視で判断して合格とした。全て合格したものは◎, 2 試料は○, 1 試料は△, すべて失敗は×で表わした。試

表 1 曲げ試験の結果

(a) 無処理材

	R6	R7	R8	R9	R12.5
スギ	×	×	×	×	×
ブナ	×	×	×	×	×
イタヤカエデ	×	△	○	△	◎
オニグルミ	×	×	×	×	×

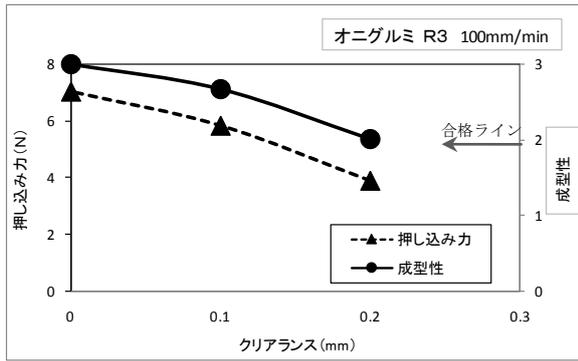
(b) WPC

	R6	R7	R8	R9	R12.5
スギ	×	○	×	○	◎
ブナ	×	×	△	○	△
イタヤカエデ	×	×	×	△	◎
オニグルミ	△	○	◎	◎	◎

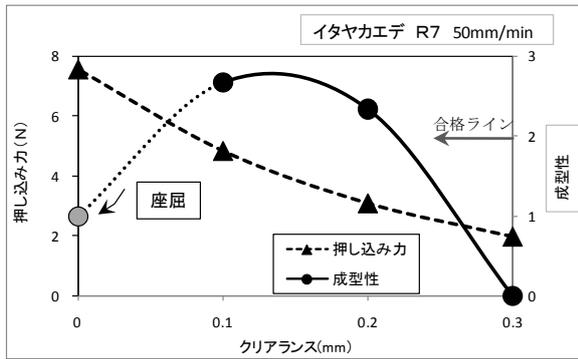
験の結果、無処理材で成形できたのはイタヤカエデのみとなり、加熱軟化による成形性が突出して良い結果となった。WPC 処理したものでは、オニグルミが R6 まで成形可能となり、相対的には WPC の方が無処理材よりも成形性が良いが、イタヤカエデのみこの結果が逆転した。

3.2 カール加工ジグを用いた曲げ試験

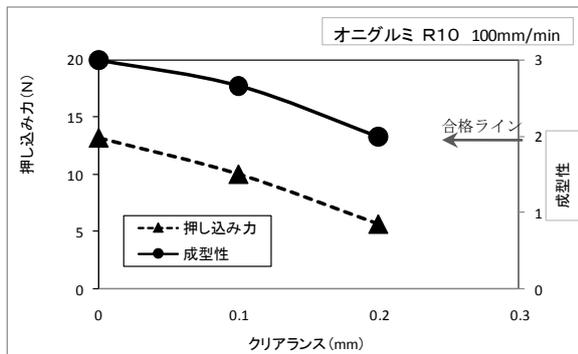
試料にはオニグルミとイタヤカエデの WPC 処理材を使用した。試験の評価は成形性を目視で判断し、割れが生じなかったものを 3 ポイント、修正可能な割れのを 2 ポイント、それ以外の割れを 1 ポイントとして、3 試料の平均が 2 ポイント以上となったものを合格とした。試験結果を図 4 に示す。カール加工の特徴として、クリアランスを小さくすると押し込み力が上昇し、成形性も上がる傾向があった。また、表記していないが、試験速度を上げると押し込み力が上昇した。グラフはそれぞれの試料で合格ラインに達した最も小さな曲率で、その中で最も早い速度で成形できた時のものを抜粋した。1.5mm (T) の試験体では、オニグルミが R3 の曲率で 100mm/min の速度で可能となり、評価ポイント 3 となり高い成形性を示した。イタヤカエデは 0.1mm のクリアランスで R7 までが合格



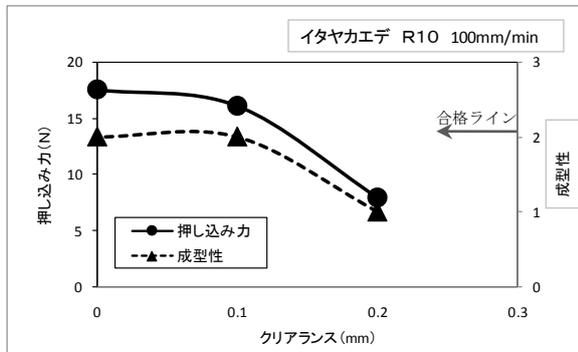
(a) オニグルミ WPC 1.5mm (T)



(b) イタヤカエデ WPC 1.5mm (T)



(c) オニグルミ WPC 3.0mm (T)



(d) イタヤカエデ WPC 3.0mm (T)

図4 カール加工試験の結果

ラインとなり、試験速度 50mm/min まで可能であったが、クリアランスを 0 にすると押し込み部分で試験片が座屈し、これ以上の試験はできなかった。3.0mm (T) の試験片では、オニグルミが、R10 で試験速度 100mm/min まで可能であり、評価ポイント 3 で、1.5mm (T) と同じく割れずに良い成形性を示した。図 5 に試験後のオニグルミの試験体を示す。

内側に圧縮に伴うシワがあり、外周の伸びを抑えながら成形されているのがよくわかる。イ

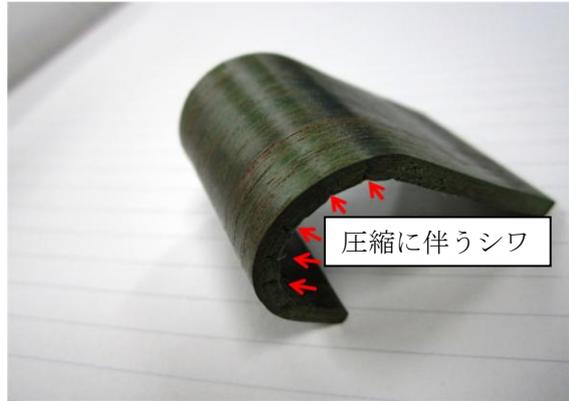


図5 カール加工試験片 (オニグルミ)

タヤカエデも R10 の曲率で成形可能となったが、評価ポイントは 2.3 で、成形性はオニグルミより低かった。以上のように、カール加工試験については、オニグルミの WPC が非常に高い成形性を示すこととなった。

3.3 温度および湿度に対する安定性

図 6 に評価に用いた試験片を示す。まったく戻りの無いものは 0° となり、戻りの発生に伴い開き角度が増加する。この変化を読み取ることで安定性を評価した。温度に対する安定性の結果を図 7 に、湿度に対する安定性の結果を図 8 に示す。養生後に若干の回復が見られるのは、養生時は試料を曲げた状態で固定金具に取り付

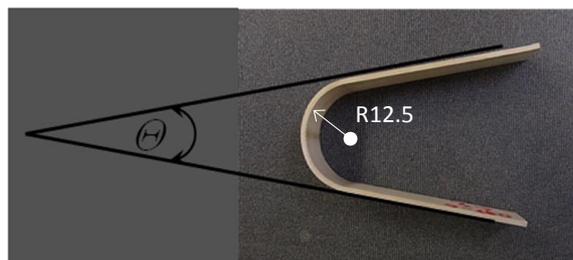


図6 試験片と開き角度

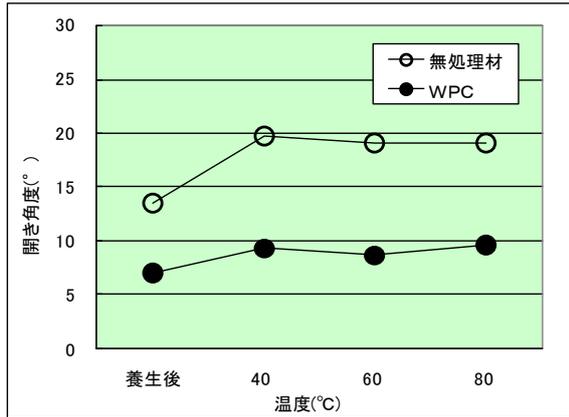


図7 温度に対する安定性

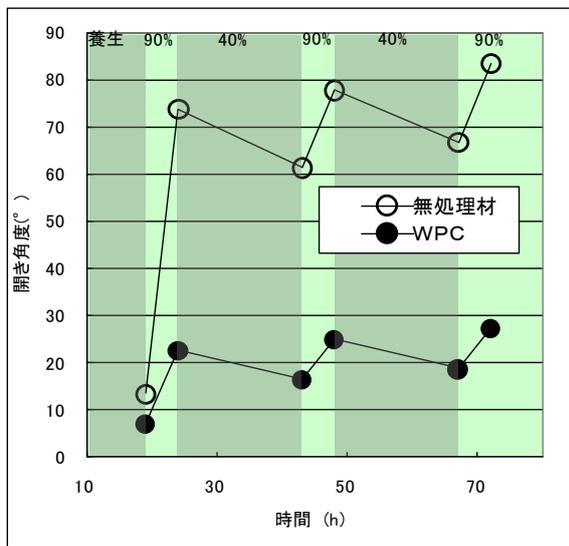


図8 湿度に対する安定性

けていたが、試験時に金具から外すと同時に残留する応力により徐々に復元し、この戻りが初期条件時に付加されたものと推察される。養生後の戻りは無処理材の方が大きく、特に湿度に対する試験では、開始当初に75°付近まで回復した。試験はこの状態から行うこととした。温度による試験では無処理材、WPCともに80℃までは安定状態を維持していた。一方、湿度に対しては、乾湿繰り返しにより徐々に復元する傾向が確認され、無処理材の方がWPCに比べて戻りが大きかった。湿度に対する戻りは3サイクル以降も続くものと思われ、製品化に際しては湿度や水の浸入を防ぐための塗装や戻りを防ぐための金具固定などの対策が必要だと考えている。

4. 実用化に向けた加工装置の試作

以上の結果をもとに、実用化を図るための加工装置を試作した。図9に加工装置の外観を示す。加工装置はカール曲げを行うための加熱金型と成形物を取り出すためのノックアウトから構成されており、精密万能材料試験機により材料を押し込む仕組みになっている。金型温度を200℃にセットし、3.0mm (T) のWPC処理した



図9 加工装置外観

オニグルミ材を使用して、クリアランス0mm、試験速度100mm/minで成形試験を実施したところ、図10のような曲げ加工が可能となり、セッティングの容易さ、早い加工速度など、従来の木材曲げ加工には無い新規性のある加工であることが実感できた。その一方で、スケールアップによるジグの熱変形や、成形距離の増加に伴う押し込み抵抗の増加が原因となる材料の座



図10 曲げ加工試作品

屈などの問題も生じており、実用化に際しては
まだいくつかの課題を解決しなければならない。

今後は企業との共同研究により問題の解決と
実用化技術の構築を図りたい。また、一連の曲
げ加工技術については、特許出願済みである。

5. 結 言

- (1) アクリル系樹脂との複合体である WPC を利
用して、加熱パンチによる 3 点曲げ加工を行
った結果、1.5mm (T) のオニグルミが R6
の曲率まで加工が可能となり、無処理材に対
して高い成形性が認められた。
- (2) 加熱ジグによる WPC のカール加工を行った
ところ、3 点曲げ成形法より小さな曲率まで
加工が可能で、1.5mm (T) の材料では、オ
ニグルミで R3 まで、3.0mm (T) の材料では、
オニグルミとイタヤカエデが R10 までの曲
率成形が可能だった。

(3) 成形後の安定性を調べたところ、温度変化に
対する高い安定性が確認できたが、湿度によ
る乾湿繰り返しでは、徐々に復元することが
わかった。製品化に際しては何らかの防湿対
策を施す必要がある。

(4) カール曲げ加工装置の試作を行い成形試験を
行った結果、加工時間の短縮化や成形性の良
さ、短時間セッティングなど、実用化に向け
て有望な特徴がみられたが、一方では、ジグ
の熱変形、押し込み抵抗による材料の座屈な
ど、改善しなければならない問題も明らか
になった。

(5) これら一連の曲げ加工技術において特許の出
願を行った。

参考文献

- 1) カール・マンク，“トーネット曲木家具”，
鹿島出版，1985，p47.
- 2) 今村博之ほか（編集），“木材利用の化学”，
共立出版，1983，p257.

II ノート

超微細成形技術によるシート型微小針アレイの開発

(第2報)

山田 敏浩* 斎藤 博** 坂井 修* 樋口 智* 菅野 明宏*

Development of Hollow Microneedle Array by using Ultra Fine Injection Molding II

YAMADA Toshihiro*, SAITO Hiroshi**, SAKAI Osamu*, HIGUCHI Satoru* and KANNO Akihiro*

1. 緒言

医療機器産業では、患者の肉体的・精神的負担の軽減等の観点から、注射針を使用した時の痛みや皮膚ダメージ等の軽減が求められている。

本研究では、プラスチック成形技術を高度化した超微細樹脂成形技術を用いて、無痛・低侵襲のシート型中空微小針アレイを開発する。微小針の数は1シートあたり10~20個を想定しており、成形金型の作製には、多数の微細形状を一括して形成できるMEMSプロセスと超精密切削加工を用いる。

本報ではMEMS加工による微細突起形成、微小針の刺通性評価、およびシリコンの超精密切削加工について検討を行った結果について報告する。

2. 微小針アレイ成形型作製プロセス

成形型の作製プロセスを図1に示す。まず、フォトリソグラフィとドライエッチングからなるMEMSプロセスによりシリコンウェーハ上にアレイ状に配列した微小突起を作製する。つぎに、薬液が通過する穴を超精密切削加工機で高精度に加工する。その後、作製された形状をマスター型として、これにニッケル電鍍を行い、形状を転写し、成形型とする。

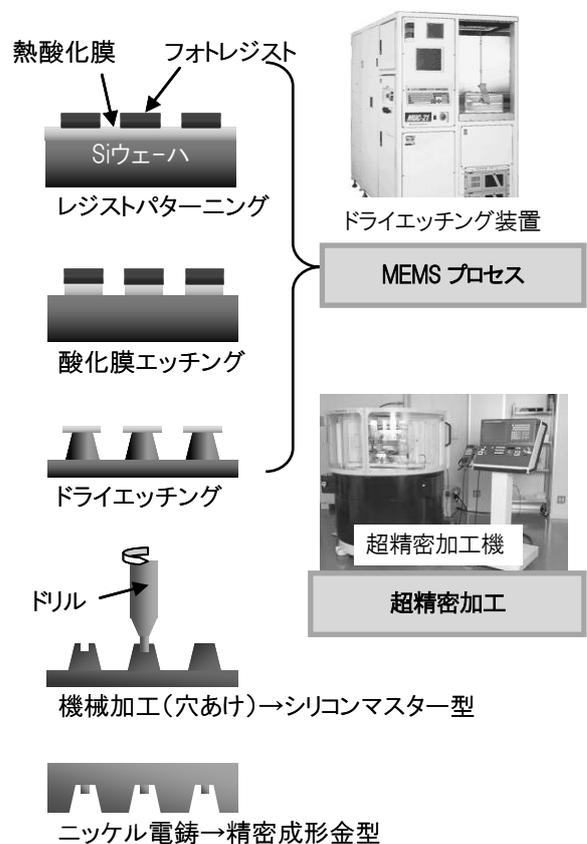


図1 微小針アレイ成形型の作製プロセス

3. ドライエッチングによる微小突起の形成

本報では、シリコンのマスター型を、垂直壁を形成するBoschプロセスとサイドエッチングを利用するテーパエッチングを用いて形成する。今年度の突起の高さの目標は500μmとした。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

3.1 Bosch プロセス

Bosch プロセスでは SF_6 ガスによるエッチングと C_4F_8 ガスによる側壁保護を繰り返すことにより垂直壁を形成する。加工例を図 2 に示す。

3.2 テーパーエッチング

テーパーエッチングは、サイドエッチングを活用したプロセスである。図 3 に円形マスクを用いてテーパーエッチングを行ったものを示す。エッチングガス中に含まれる酸素量は、(a), (b), (c), (d)の順に多い。酸素量により側面の傾斜を変えることができる。

3.3 微小突起の形成

垂直壁を形成するプロセスである Bosch プ

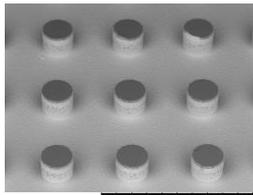


図 2 Bosch プロセス加工例

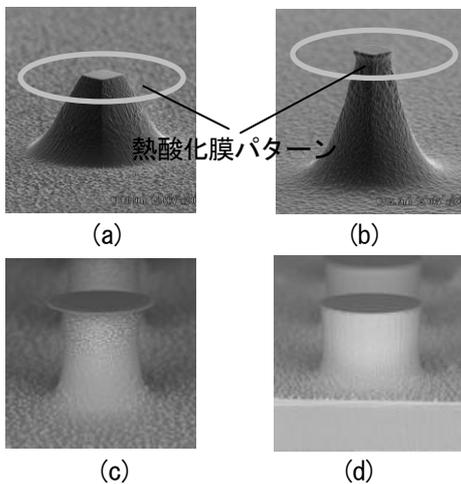


図 3 テーパーエッチング加工例

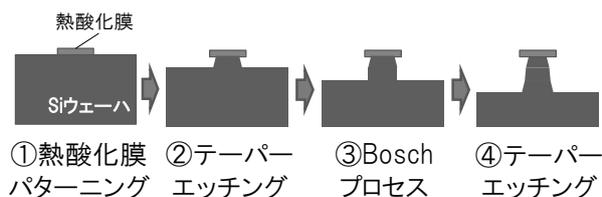


図 4 微小突起形成テーパーエッチング

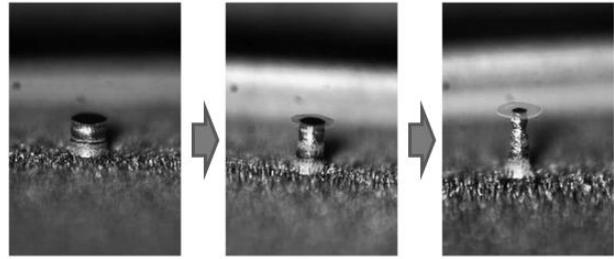


図 5 微小突起加工例①

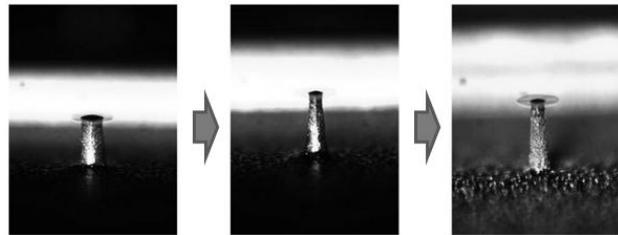


図 6 微小突起加工例②

ロセスとサイドエッチングを活用したプロセスであるテーパーエッチングを併用することで、目的とする針高さ $500\mu\text{m}$ の突起形状を形成できるか検討した。

プロセスの概要を図 4 に示す。手順は次のとおりである。

- ①熱酸化膜をパターンニング
 - ②テーパーエッチングでテーパー形状を形成
 - ③Bosch プロセスで垂直壁を形成
 - ④テーパーエッチングでサイドエッチング
- ④の後、③と④を繰り返し行うことでテーパー形状を形成する。

図 5, 図 6 に加工例を時系列に並べて示す。傾斜角はテーパーエッチングの酸素流量と加工時間で調節可能である。図 6 の針高さは $500\mu\text{m}$ である。

4. シリコンへの微細穴加工

成形する微小針には中空穴が設けられるため、マスター型の製作時、シリコンに高精度な穴加工をする必要がある。ここでは、ダイヤモンドドリルによる微小穴加工と超硬ドリルを用いた超音波援用微小穴加工について検討した。

4.1 ダイヤモンドドリルによる微細穴加工

超精密加工機を用いて、 $\phi 30\mu\text{m}$ の単結晶ダイヤモンドドリルによるシリコンへの穴加工について検討した。使用したダイヤモンドドリルを図7に示す。表1の加工条件によりシリコンで作製した突起の上面に穴加工を行ったものを図8に示す。脆性破壊は生じず、真円度も良好であった。

4.2 超硬ドリルによる超音波援用微小穴加工

ダイヤモンドドリルと比べてコスト面で有利な超硬合金ドリルを用いて、超音波援用切削加工について検討した。

超音波発生ユニットを図9に示す。振動子は工具軸方向のみ振動する軸振動子を用いた。

表1 微小穴加工条件

被削材	単結晶シリコン
工具	単結晶ダイヤモンドドリル ($\phi 30\mu\text{m}$)
主軸回転数 (min^{-1})	60,000
送り速度 (mm/min)	0.03
ステップ量 (mm)	0.0005
クーラント	放電加工用油を間欠供給

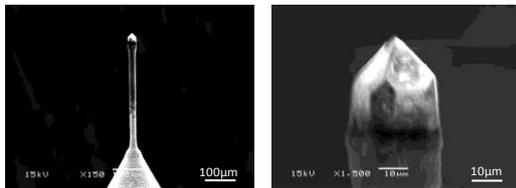


図7 ダイヤモンドドリル

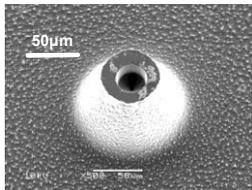


図8 シリコン突起上面への穴加工

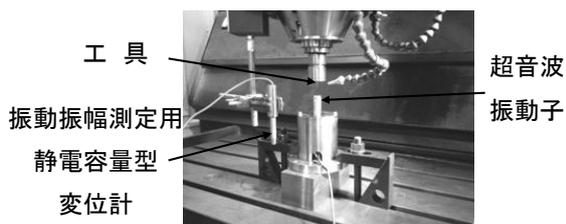
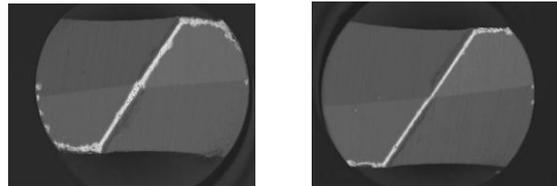


図9 超音波発生ユニット

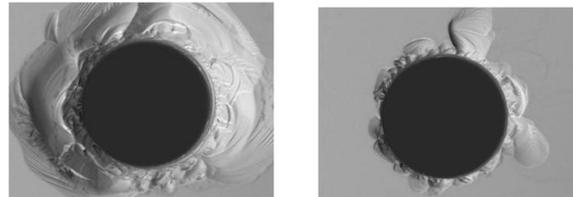
表2 超音波加工条件

被削材	単結晶シリコン
工具	超硬合金ドリル ($\phi 0.1\text{mm}$)
振動周波数 (kHz)	31.84
振動振幅 (μm)	1
主軸回転数 (min^{-1})	60,000
穴深さ (mm)	0.7
ステップ量 (mm)	0.01
クーラント	エアー



(a) 超音波加工 (b) 慣用加工

図10 工具先端摩耗



(a) 超音波加工 (b) 慣用加工

図11 加工後の微細穴

加工装置はNCフライス盤を使用した。加工条件を表2に示す。実験は送り速度のみを変化させ実施した。

送り速度 $10\text{mm}/\text{min}$ における加工後の工具先端の様子を図10に、穴の様子を図11に示す。工具先端の磨耗量は、実験を行った送り速度ではいずれも慣用加工に対し優位性は認められなかった。

5. 刺通特性評価

成形した針の刺通特性について検討した。針を弾性体に押し込み、針がその弾性体を穿刺するときの様子を図12に示す。まず、針の押し込み始めには、針には弾性変形抵抗だけが加わる。その後、針を押し込み続けると、弾性変形が限界に達して弾性体が引き裂かれて穿刺が生ずる。このときに荷重曲線は屈曲し、その屈曲点における荷重が穿刺荷重である。微小針における刺通特性を評価するためには、この屈曲点の荷重を測定する必要がある。

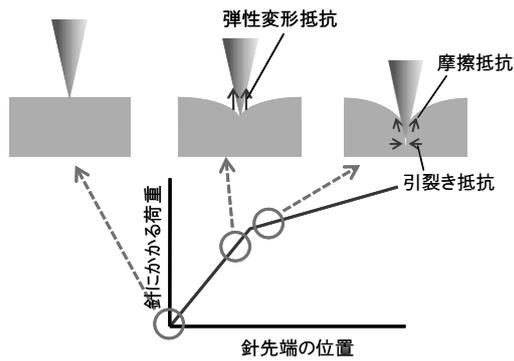
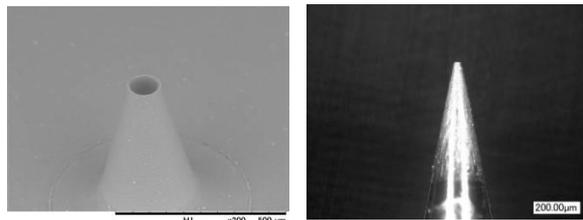


図 12 刺通特性曲線のイメージ図



(a) PP 製試作針
先端外径 90 μm

(b) 金属針
先端外径 90 μm

図 13 試作針

る。ここでは、昨年度に構築した高感度荷重測定システムを用いて、本開発で試作した微小針のシリコンゴムに対する押し込み荷重測定を実施した。また同様に、金属製の針による押し込み荷重試験も実施して比較することで、本開発の針における刺通特性の考察を行った。

ポリプロピレン（以下 PP）製試作針と金属製針を図 13 に示す。これらについて、シリコンゴムへの押し込み荷重測定を行った結果を図 14 に示す。押し込み量と荷重はほぼ同様の傾向が得られた。すなわち、針先端部の形状が刺通特性に大きく影響を及ぼすことがあらためて確認できた。金属製針では、押し込み量が約 380~500 μm において、最初の荷重屈曲点が現れていることから、本形状の針において穿刺を生じさせるには、それ以上の針長さが必要であると考えられる。また、金属製の針をシリコンゴムへ押し込んだ場合に、最初の屈曲点が生じる最小荷重が約 0.34N であることから、本開発品の先端形状で長い PP 製針を用いた場合においても同程度以上の刺通力が生じるものと推察できる。

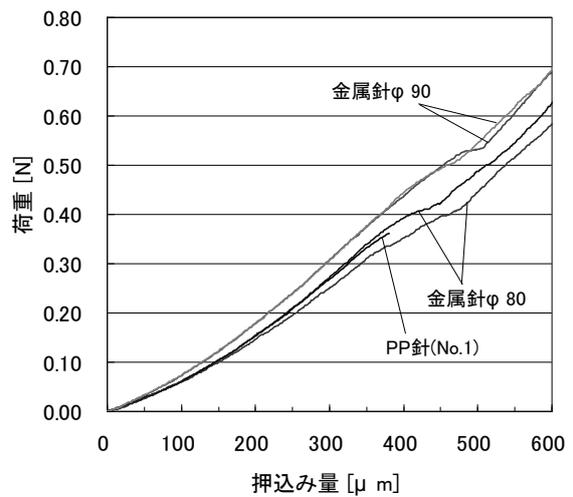


図 14 荷重測定結果

6. 結 言

シート状の微小針アレイを開発するため、ドライエッチングと超精密切削加工によるシリコンマスター型の作製等について検討を行った。得られた結果は以下のとおり。

- (1) シリコンウェーハ上にドライエッチングにより高さ 500 μm の微小突起を一括作製した。
- (2) 微小突起上面に、単結晶ダイヤモンド工具による超精密加工を実施し、穴径 30 μm を達成した。
- (3) 汎用工作機械と超合金工具による微細穴加工について、超音波援用加工を試みたが最適条件の把握までには至らなかった。今後は早急な最適条件の把握が課題である。
- (4) PP 製試作針と金属製針についてシリコンゴムへの押し込み荷重測定を行った結果、押し込み量と荷重はほぼ同様の傾向が得られた。針先端部の形状が刺通特性に大きく影響を及ぼすことを確認した。

なお、本研究は、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業の成果の一部であり、経済産業省の委託を受けて行ったものである。

未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発

須貝 裕之* 本田 崇* 阿部 淑人** 坂井 朋之*

Development of Power Generation System using Untapped Low Temperature Heat Source

SUGAI Hiroyuki*, HONDA Takashi*, ABE Yoshito** and SAKAI Tomoyuki*

1. 緒言

工業技術総合研究所では平成 21, 22 年度に工場排熱を再利用するエネルギーシステムの開発を目指して、「排熱利用研究会」を立ち上げ活動を行ってきた。その成果として、県内に多数立地する米菓メーカーにおいて、米菓を製造するために使用される運行釜からの排熱を電気エネルギーに変換する装置を開発するテーマが、(財)にいがた産業創造機構が募集する市場開拓技術構築事業に「未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発」として採択され、平成 23 年 1 月から平成 25 年 12 月の 3 年間にわたって研究開発を行うこととなった。

この研究は排熱利用研究会の参加企業を中心として、関連企業、新潟大学、県農業総合研究所食品研究センター、そして工業技術総合研究所が共同研究体を形成して行う。本報告では、この研究全体の概要と工業技術総合研究所が担当するコンピューターシミュレーションを利用した開発支援について紹介する。

2. 発電システムの概要と開発担当

本研究で開発する発電システムの概略を図 1 に示す。システムは「集熱装置」、「熱輸送装置」、「スターリングエンジン」そして「蓄電・制御装置」の 4 つの要素から構成される。それぞれについて以下に説明する。

2.1 集熱装置

集熱装置は、運行釜から排熱される 200℃前

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

後の熱気を効率的に回収し、後述する熱輸送装置の作動流体との間で熱交換を行う

2.2 熱輸送装置

熱輸送装置は、集熱装置によって集められた熱を効率よく、後述するスターリングエンジンに伝える機能を果たす。具体的には、ヒートパイプの一種であるサーモサイフォンによりこれを実現する。ヒートパイプ（サーモサイフォン）は、真空容器内に水などの作動流体を封じ込めた伝熱装置である。一端を加熱することにより、内部の作動流体が蒸発して移動し、冷却側で凝固して液体に戻る。液体の蒸発・凝縮に伴う潜熱は極めて大きいため、エネルギー必要とせずに大きな熱輸送が可能となる。その性能は、金属材料の中で熱伝導率が良い純銅と比較しても 100 倍以上になる。

2.3 スターリングエンジン

本システムの中核がスターリングエンジンで

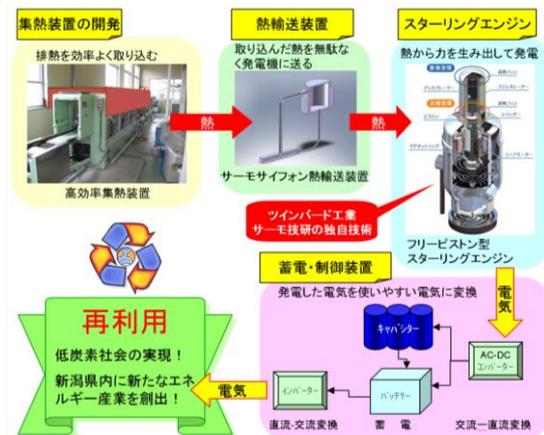


図 1 発電システムの概要

ある。スターリングエンジンは、高温と低温の温度差を利用してエンジン内部の作動気体を膨張・収縮させてピストンを動かす。これにより高温の排熱を吸収して運動エネルギーに変換することが可能となる。

2.4 蓄電・制御装置

スターリングエンジンにより得られた動力で発電機を回すことにより、運動エネルギーを電気エネルギーに変換することができる。得られた電気エネルギーは周波数や電圧変動の関係で直接系統電力に戻せないため、蓄電・制御装置により系統電力に戻すことが可能な安定した電力に変換する。

4つの要素それぞれの開発分担を表1に示す。事業の統括は吉田商工会（燕市）が行う。集熱装置と熱輸送装置は、サーモ技研（燕市）とセキサーマル（燕市）が製作を行う。新潟大学はサーモサイフォンの基礎的な特性を調査し開発に活かすための研究を行う。工業技術総合研究所は、コンピューターシミュレーションにより装置の開発を支援する。食品研究センターは運行釜による実験や米菓の焼き加減に与える影響を評価する。スターリングエンジンは、サーモ技研、ツインバード工業（燕市）、セキサーマル、共和工業（三条市）が開発を行う。蓄電装置はサーモ技研と工技総研が開発する。

表1 開発の役割分担

総括 吉田商工会		
集熱装置 熱輸送装置	基礎実験	新潟大学
	CAE	工技総研
	装置製作	サーモ技研 セキサーマル
	集熱実験	食品研究センター
スターリングエンジン	装置製作	サーモ技研 ツインバード工業 セキサーマル 共和工業
蓄電装置	装置製作	サーモ技研 工技総研

今年度は試験用の小型発電システムを開発し、次年度に実用機の開発、そして最終年度には実用機の耐久性やコストダウンなどの検討を行った後、商品化を目指す。

3. CAEによる開発支援

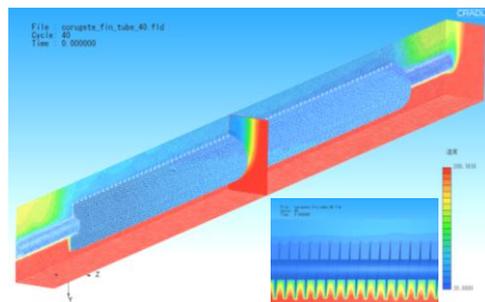
工業技術総合研究所では CAE（Computer Aided Engineering：コンピューターシミュレーションによる設計開発支援）により集熱装置と熱輸送装置の開発を支援している。今回対象とする現象は、熱を伴う流れであることから、シミュレーションにはソフトウェアクレイドル社の熱流体解析ソフトウェア SCRYU/Tetra を使用した。以下に解析結果の一例を紹介する。

3.1 集熱装置のシミュレーション

図2に集熱装置として検討しているコルゲートフィンチューブとこれを運行釜に取り付けて熱交換を行った際の温度分布の解析結果を示す。コルゲートフィンチューブは銅管の周りに熱伝達を高めるためのフィンを螺旋状に取り付けた

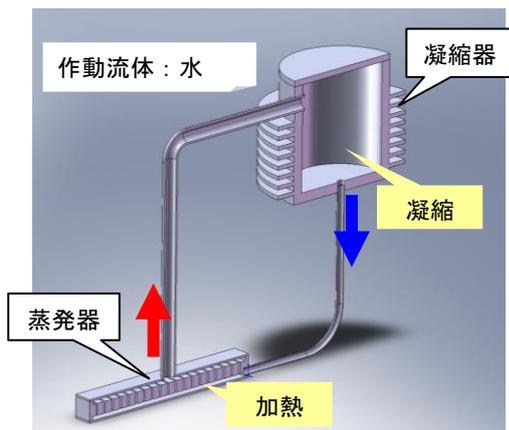


(a) 集熱装置用コルゲートフィンチューブ

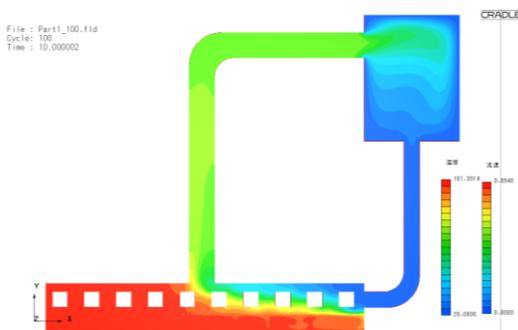


(b) 解析結果（チューブ周りの温度分布）

図2 集熱装置の概要と解析結果



(a) サーモサイフオンの模式図



(b) 解析結果

(サーモサイフオン内の温度分布)

図3 サーモサイフオンの概要と解析結果

伝熱管である。解析では、集熱効率を高めるためコルゲートフィンチューブの周りを取り付ける風導板形状の最適化やそれによる集熱能力の予測を行い、効果が期待できるものについては実際に試作し検証を行っている。

3.2 サーモサイフオンのシミュレーション

図3に熱輸送装置として検討しているサーモサイフオンの模式図とこれをもとにした解析結果を示す。サーモサイフオンでは図3(a)の蒸発器(集熱装置に接続)で加熱により蒸発した水が水蒸気となって凝縮器(スターリングエンジン加熱部に接続)に移動し、そこで冷却されて凝縮することにより熱を伝える。このため、封入される水の量や蒸発器や凝縮器の寸法、内部



図4 小型スターリング発電システム

構造が性能に大きな影響を与える。

そこで新潟大学において、実験用サーモサイフオンによりサーモサイフオンの基礎的な特性評価を行い、工業技術総合研究所は大学と連携してサーモサイフオンをコンピュータ上で再現し、装置の構造最適化や実際に装置を作る前の機能検証を行うことにより、装置開発を支援している。

3.3 開発した小型スターリング発電システム

図4に開発中の小型スターリング発電システムの外観を示す。スターリングエンジンはテスト用の電気ヒーターの熱をサーモサイフオンにより取り込んで運転することに成功している。現在は各システムの動作確認と性能検証、そして大型化に向けての問題点の抽出と対策を検討中である。

4. 結 言

産学官共同で行う未利用低温排熱利用の発電システムの技術開発に対して、コンピュータシミュレーションによる開発支援を行い以下の成果を得た。

- (1) 集熱装置の開発に対して形状の最適化や集熱能力の予測を行い開発を支援した。
- (2) 熱移送装置の開発に対して装置の構造最適化や機能検証を行い装置の開発を支援した。

省エネ型植物工場に向けた基盤技術の開発

高橋 靖* 岡田 英樹*

Development of Fundamental Technologies for an Energy Conservation Plant Factory

TAKAHASHI Yasushi* and OKADA Hideki*

1. 緒言

植物工場は、土を使用し天候に左右されていた従来の農業と異なり、土を離れた養液栽培を基本とし環境を高度に制御する農作物の生産システムである。

①季節、天候に左右されずに安定供給（納期、数量、品質、価格）が可能である、②地域や土地を選ばない、③単位面積あたりの生産性が高い、④養水分制御による食味の向上が期待でき、農薬、重金属、微生物などによる汚染が少ない、⑤労働が平準化でき作業環境が快適である、などの利点を有することから近年注目を集めている。

しかし、その反面、①設置コスト・運営コストが高い、②経済栽培可能な品目が少ない、③厳密な環境制御が難しい、④技術面・経営面の課題に対応できる人材の育成、など多くの課題を抱えている¹⁾。このうち最も大きな課題である設置コスト・運営コストの削減には、安価に普及できる省エネ型植物工場技術の開発が不可欠であると思われる。植物工場のうち、太陽光を全く利用しないものを完全人工光型植物工場といい、栽培期間の短いレタスなどの葉菜類が商用生産されている。この形式では、照明にかかるコストが運営コストの約1/3と大きな割合を占めることから、効率的な照明方法が色々と検討されており、植物の光合成に有効な波長成分を有するLEDも利用されてきている^{2) 3)}が、現時点では高価であるため、多くの導入には至っていない。

本研究では、完全人工光型植物工場の光源とし

て現在最も多用されている安価な蛍光灯に様々な光質変換資材を組み合わせることで光質のみを変化させた際のレタスの生育の違いについて検討した。

2. 試験

2.1 供試材

レタスの種子2種類（大創産業、‘チマサンチュ’、‘サニーレタス’）を充分吸水させたウレタンスポンジ（大きさ一辺30mmの立方体）に播種し、透明のプラスチックデシケーター内にて気温18℃、太陽光源下で45日間、発芽、育苗したものを試験に供した。

2.2 方法

15cm間隔に直径30mmの穴を6カ所開けた発泡スチロール製の定植パネル（大きさ450mm×330mm×t30mm）に供試材（前述の苗）を定植した後、気温15℃、湿度50%RH（ただし、気温、湿度は成り行き）、光源に蛍光灯（18W×4本/定植パネル1枚当たり）を使用し、日長14時間、湛液方式による水耕栽培を実施した。なお、培養液は大塚ハウス肥料A処方の1倍濃度（EC1.4dSm⁻¹, pH4.2）、液量4Lとし、定植から2週間後に培養液を全量交換し、4週間後に収穫した。

2.3 試験区

光源に蛍光灯（18W、3波長型昼光色、日立アプライアンス製FL20SS・EXDX）と植物育成用蛍光灯（18W、スドー製トロピカルレッドS-3920）を使用し、さらに光質変換資材として蛍光パネル

* 下越技術支援センター

表1 試験区の設定

試験区	光源	光源からパネルまでの距離 (mm)
1	蛍光灯	150.0±0.0
2	蛍光灯+蛍光パネル	150.0-19.5
3	蛍光灯+ピンクシート	150.0-13.5
4	植物育成用蛍光灯	150.0-58.0

(厚さ 2mm, サクラ樹脂製アクリル集光パネル, 蛍光ピンク) とピンクシート (厚さ 0.09mm, 光変換光合成促進農法) を使用し, 試験はこれらを組み合わせた表 1 に示す 4 試験区で実施した。なお, すべての試験区で定植パネル上面中心部における光量子束密度を約 $230\mu\text{molm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ となるように, 試験区ごとに光源から定植パネル上面までの距離を設定した。

2.4 評価

2.4.1 光源の発光スペクトル

光源および光質変換資材を介した光源の発光スペクトルを, 発光分光測色機 (大塚電子製 MCPD-100) を用い暗室内において測定した。光源から 150mm の位置に受光器を設置し, 測定波長 400~800nm, 波長間隔 1nm, 測定時間 50msec の条件により, 各波長におけるエネルギー補正出力を測定した。

2.4.2 収量および外観

定植パネルの中心部に植えた‘チマサンチュ’, ‘サニーレタス’ の各 1 株について, 生体重 (地上部新鮮重量), 茎径, および葉数を測定した。

また, 外観を上部より撮影した。

2.4.3 成分

収穫したレタスの成分を赤外分光分析により調べた。赤外分光光度計 (パーキンエルマージャパン製 SpectrumOne) を使用し, ATR 法, 測定波数 $4000\sim 650\text{cm}^{-1}$, 積算回数 16 回の条件にて測定した。

3. 結果および考察

3.1 光源の発光スペクトル

光源の発光スペクトルを図 1 に示す。試験区 2, 3 は光質変換資材の効果により試験区 1 に比べ, 400~600nm の青色緑色成分を減じ 600~700nm 赤色成分をわずかに増加させていることがわかった。また, 試験区 4 は 660nm にピーク波長を持つ全体的になだらかなスペクトルであった。

3.2 収量および外観

各試験区における生体重と茎径, 葉数を表 2 に示す。‘チマサンチュ’ は, 試験区 2 の生体重, 茎径が大きく, 試験区 3 の葉数が他に比べて多かった。‘サニーレタス’ は, 試験区 3 の生体重が他に比べて大きかった。外観を図 2 に示す。

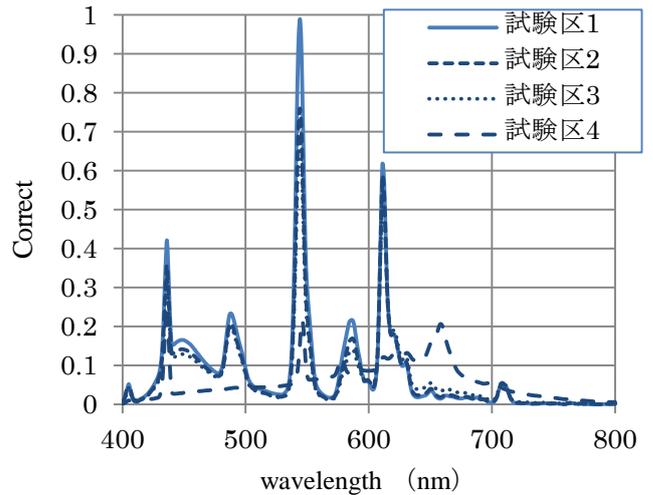


図1 光源の発光スペクトル

表2 収量

試験区	チマサンチュ			サニーレタス		
	生体重 (gFW)	茎径 (mm)	葉数	生体重 (gFW)	茎径 (mm)	葉数
1	17.8	6.5	11	16.1	7.4	5
2	37.6	7.3	13	17.7	6.4	8
3	16.9	5.7	29	23.0	7.0	8
4	10.2	4.8	10	14.2	7.4	8



試験区 1



試験区 2



試験区 3



試験区 4

(上：チマサンチュ、下：サニーレタス)

図 2 外観

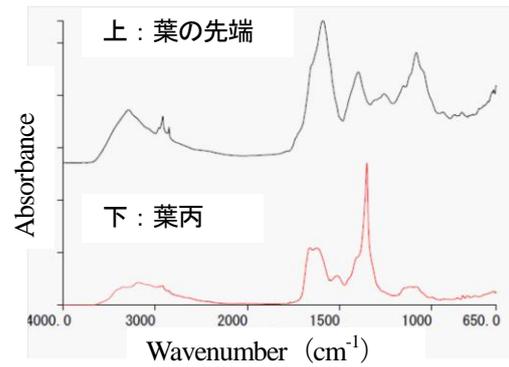


図 3 IR スペクトルの測定部位による違い

3.3 成分

図 3 に試験区 1 の‘サニーレタス’の葉の先端、葉丙の IR スペクトルを示す。糖類（グルコース、フルクトース）、有機酸塩、硝酸塩、アンモニウム塩などが検出された。また、測定部位による組成の違いが確認され、代謝の様子を知る手段として有効であることがわかった。各試験区の違いを論じるには、さらにサンプリング方法や測定条件について検討する必要があることがわかった。

4. 結 言

- (1) 光源の光質を変化させることで、レタスの収量、形態、および成分に違いが現れる可能性が確認された。
- (2) 成分は測定部位による違いが大きいことがわかった。このためサンプリング方法や測定条件などの測定方法を確立し、成分の組成比や分布の違い等を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 農林水産省ホームページ，“植物工場の普及と拡大に向けて”，http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/plant_factory/index.html，2012年3月30日閲覧。
- 2) 高辻正基，森康浩，LED 植物工場，日刊工業新聞社，2011，p116-129。
- 3) 後藤英司，“高品質な作物生産のための光環境制御技術”，施設と園芸，(社)日本施設園芸協会，144号，2009，p10-15。

セルロース材料を効率よく熱分解する 触媒組成の探索

笠原 勝次* 渡邊 亮*

Screening of Catalyst Composition for the Catalytic Pyrolysis of Cellulosic Materials

KASAHARA Katsuji* and WATANABE Ryo*

1. 緒 言

セルロースを含むバイオマスから、ガソリンや軽油など、主要な化石燃料を代替できる液体燃料を製造する技術の開発を目的として、バイオマスの急速熱分解法に接触法を組み合わせた技法の文献調査と使用する触媒の機能評価の手法を確立するための予備実験を行った。

急速熱分解は液体燃料を得る場合、バイオマスを急速に 500~700°C 程度まで加熱して熱分解した後、急激に室温付近まで冷却することで、狭い温度範囲で短時間にバイオマスを熱分解して、液化する技術である。¹⁾この手法では、温度と、高温中への滞留時間のみで生成物の組成が制御され、短時間で反応が完了するため、熱分解生成物の縮合のような副次的な反応を抑制することができる。¹⁾

一方、触媒を用いる接触法では触媒の種類が決まれば、バイオマスとの反応生成物は、ほぼ限定されるので、反応の制御という点では容易である上、反応温度の抑制が可能となるが、固体であるバイオマスに用いる触媒は十分な接触機会を確保するためには、液体、または気体に限定され、使用できるものが限られる。

本研究では、急速熱分解に接触法を組み合わせ、急速熱分解よりも低い温度でのバイオマスからの液体燃料の生成を目指した。

また、触媒として、文献調査の結果から、もっともセルロースの分解効率が高いものとして、塩化亜鉛^{2),3)}を、比較対象として、セルロース炭化物の気中ガス化で銅の塩類が用いられる⁴⁾ことから研究室にあったものの中から硫酸銅をそれぞれ水溶液で用いた。

* 下越技術支援センター

原料となるバイオマスは基準となるセルロース材料として、純セルロースとみなすことのできる紙の中でも清浄な分析用濾紙を、また、新潟県に特有な未利用バイオマス資源として籾殻をそれぞれ用いた。

2. 実 験

2.1 材料と装置

2.1.1 セルロース材料

セルロースの純物質として、市販の分析濾紙（東洋濾紙（株）社製 ADVANTEC 定量濾紙 5A）を細断して用いた。また、新潟県特有のセルロース材料として、県内産うるち米の籾殻を濾紙と同様に細断して用いた。

2.1.2 触媒

触媒として、試薬塩化亜鉛（和光純薬工業（株）社製試薬特級）および試薬硫酸銅(II)5水和物（和光純薬工業（株）社製試薬特級）をそれぞれ純水に溶解して水溶液として用いた。触媒水溶液はそれぞれマイクロシリンジで秤量して試料カップに注入した。できるだけ水の投入量を減らし、触媒量を大きくしたかったので、高濃度のものを使うために、飽和溶液に近い濃度としたが、操作中に析出してシリンジを詰まらせない程度の濃度として、塩化亜鉛 20g、硫酸銅(II)5水和物 5g をそれぞれ 50ml の純水に溶解して用いた。

2.1.3 装置

熱分解、および生成物の分析、評価は熱分解ガスクロマトグラフ質量分析システム（py-GC/MS; 日本電子（株）社製 JMS-AMII50 型）を用いて、熱分解反応をシステムの熱分解炉

(フロンティア・ラボ (株) 社製ダブルショットパイロライザーPY-2010D) 内で行い、発生ガスを生成物の分離、回収を行わずに、そのまま GC/MS へ導入して分析を行った。

2.2 濾紙 (セルロース) の熱分解

濾紙は特に乾燥、精製等の前処理をせずに用いた。濾紙を約 0.3mg の大きさに細断し、これをパイロライザー用試料カップに入れ、パイロライザーに投入した。熱分解温度は 700℃とした。熱分解生成物はガス化し、発生ガスはそのまま、分離・回収せずに直接 GC/MS へ導入して分析した。

2.3 籾殻の熱分解

濾紙と同様に、パイロライザーに投入し、700℃で熱分解を行った。発生ガスは、前項の濾紙の熱分解と同様に分析した。

2.4 触媒添加した試料の熱分解

試料は濾紙、または籾殻を前述と同様にパイロライザー用試料カップへ入れ、さらに、触媒として、塩化亜鉛、または硫酸銅の水溶液 5 μ l をパイロライザー用試料カップ中の試料の濾紙、および籾殻にしみこませて、そのままパイロライザーに投入し、前項の濾紙だけ、および籾殻だけの場合と同様に発生ガスを分析した。

3. 結果

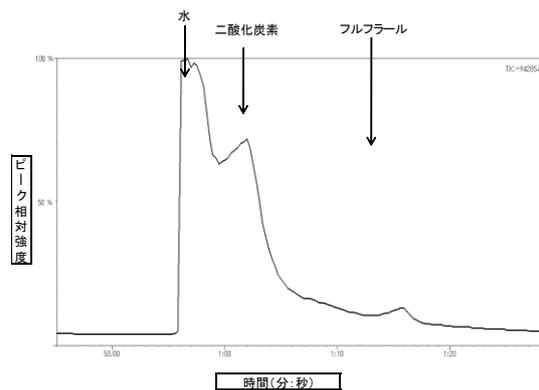
3.1 濾紙 (セルロース) の熱分解

二酸化炭素や水等の他、セルロースの構成単位であるグルコース由来のレボグルコサンやグルコース、グルコフラノース等の糖類や脱水糖類、各種アルコールやアルデヒド類を確認した。クロマトグラムの各ピークは質量スペクトルから物質を同定した。

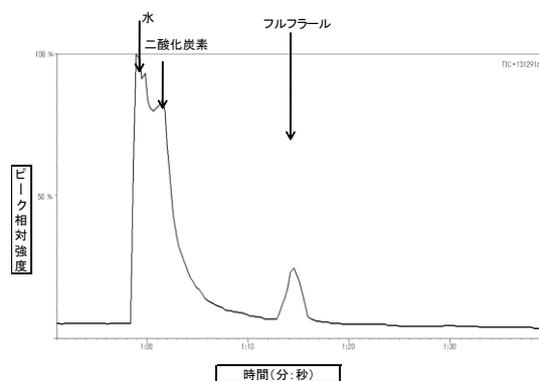
3.2 籾殻の熱分解

リグニン由来のグアヤコールやシリンゴール、バニリンなどの多数のフェノール類のピークを確認した。

セルロース由来のレボグルコサンのピークはリ



(a) 濾紙のみ



(b) 塩化亜鉛を添加した濾紙

図 1 濾紙 (セルロース) の熱分解クロマトグラム (フルフラールのピーク周辺部分のみ拡大)

グニン由来の多数のフェノール類のピークに重なってしまい、識別できなかった。

3.3 触媒添加による熱分解

3.3.1 濾紙 (セルロース) に塩化亜鉛添加

塩化亜鉛を添加した系ではフルフラールの生成が増大した。濾紙のみ熱分解したものは痕跡程度のピークしか見られなかった (図 1(a)) が、塩化亜鉛を添加して熱分解したものは、小さいが鋭いピークが確認できる (図 1(b))。

3.3.2 濾紙 (セルロース) に硫酸銅添加

硫酸銅水溶液をしみこませた濾紙の熱分解クロマトグラムで、15分以降に小さいが鋭いピ

ークが3~5本重なった形のピークを5個ほど確認した。質量スペクトルから、鎖状の炭化水素であることが確認できた。

3.3.3 籾殻に塩化亜鉛添加

濾紙と同様に、塩化亜鉛を添加した系ではフルフラールの生成が増大した。

3.3.4 籾殻に硫酸銅添加

濾紙で炭化水素と思われるピークが確認された位置には、リグニン由来の生成物のピークがあるため、クロマトグラムからは濾紙で確認できたような炭化水素の生成は確認できなかった。

4. 結 言

- (1) 籾殻を原料に用いるには、共存するリグニンの処理が課題となる。
- (2) セルロースをそのまま熱分解すると、レボグルコサンや種々の糖、アルコール、アルデヒド類が生ずる。
- (3) 塩化亜鉛を触媒として使用すると、生成物は、ほぼフルフラールのみとなる。
- (4) 塩化亜鉛を用いない場合でも、痕跡量程度のフルフラールを生成していることは確認できるが、塩化亜鉛を用いることで、鋭いピークが確認できるほどに生成量が増大する。
- (5) 硫酸銅の効果はセルロースの分解に寄与す

るものではなく、セルロースの分解生成物から二次的または三次的に炭化水素を生成するものと思われるが、塩化亜鉛はセルロースの分解反応そのものに寄与すると思われる。

- (6) 塩化亜鉛のほか、リン酸やホウ酸等にもセルロースの熱分解を促進する能力がある³⁾ ようなので、これらについても検討する必要がある。

参考文献

- 1) A.V.Bridgwater, "Fast Pyrolysis of Biomass for Energy and Fuels," Thermochemical Conversion of Biomass to Liquefied Fuels and Chemicals, M. Crocker ed., RSC Publishing, 2010, p.146-p.191.
- 2) Xi-feng Zhu, and Qiang Lu, "Production of Chemicals from Selective Fast Pyrolysis of Biomass," Biomass, M. Momba and F. Bux eds., Scyo, 2010, p.147-p.164.
- 3) C. Branca, C. Di Blasi, and A. Galgano, "Catalyst Screening for the Production of Furfural from Corn Cob Pyrolysis," *Energy and Fuels*, Vol. 26, Issue 3, 2012, p.1520-p.1530.
- 4) T. G. Devi, M.P. Kannan, and G. N. Richards, "Copper Catalysis in the air gasification of cellulosic chars," *Fuel*, Vol. 69, Issue 11, 1990, p.1440-p.1447.

樹脂の熱特性分析の基礎技術確立

永井 直人* 岡田 英樹*

Study on the Structure Changes of Resins under Thermal Treatment

NAGAI Naoto* and OKADA Hideki*

1. 緒言

熱特性分析（示差熱分析Differential Thermal Analysis: DTAなど）は樹脂の融解やガラス転移、結晶化などによる吸熱・発熱プロセスを解析するものである。しかしながら、このようなプロセス下で分子がどのような構造変化を起こしているかについては現在でも不明のところが多い。

樹脂の熱劣化においても、どの程度の温度にさらされたかを外観上から判断するのは難しく、そのデータベースの報告も乏しいのが現状である。

本研究においては第1ステップとして、DTA装置による加熱プロセスで樹脂の化学構造が変化していく様子を赤外分光分析（FT-IR）で把握しデータベース化することを目的とする。これによって、成形工程管理やトラブル解析に役立つものと考えられる。

2. 評価方法

2.1 評価方法

評価方法は、まずDTA装置で試料の加熱を重量減少が起こり始める温度まで行ってDTA曲線を取得し、ガラス転移・結晶化などの特徴的なプロファイル前後で設定温度を決める。さらに、サンプル切片をそれぞれの設定温度まで加熱した後、室温まで放冷し、取り出した切片表面を赤外分光分析によって化学構造情報を取得することとした。

本研究に使用したDTA装置は天秤機能があり重量減少を同時にモニターできる（株）リガク製TG-DTA Thermo plus TG8120を用いた。サンプルは樹脂片からmgオーダーを採取しDTA装置の皿に入れ、加熱・放冷後、皿と密着していな

い表面側を（株）パーキンエルマー製FT-IR Spectrum Oneの全反射吸収測定（ATR）ユニットにて分析した。赤外ATR測定はゲルマニウムプリズム入射角45°を用いた。サンプルの加熱は昇温速度10℃毎分で行い、設定温度に到達後直ちに降温させた。実際は、設定温度よりややオーバーシュート傾向がありモニター上では数度高めの温度まで到達していた。

2.2 評価サンプル

データベース化を目的としているため、できるだけ多くの種類の樹脂を評価することとした。評価サンプルは低密度ポリエチレン（LDPE）、高密度ポリエチレン（HDPE）、超高分子量ポリエチレン（UHMPE）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ナイロン6（PA6）、ポリメチルメタクリレート（PMMA）、ポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）、ポリカーボネート（PC）、ポリアリレート、アクリロニトリル-スチレン-ブタジエン共重合体（ABS）の11種類のDTA測定と赤外分光測定を行った。

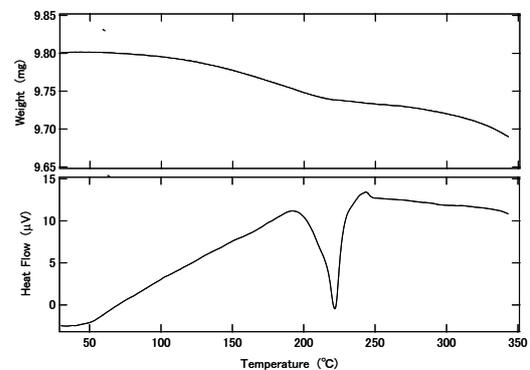


図1 ナイロン6の熱重量変化（上）とDTA曲線（下）

* 下越技術支援センター

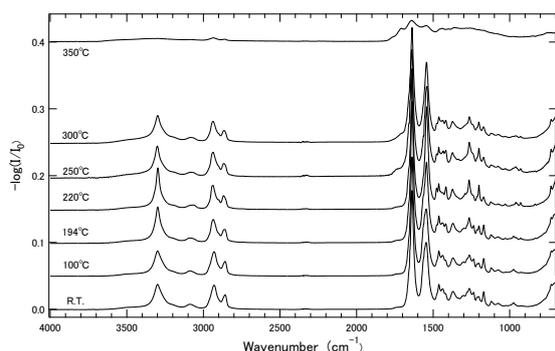


図2 ナイロン6の処理温度による赤外吸収スペクトルの変化 (4000-700 cm^{-1})

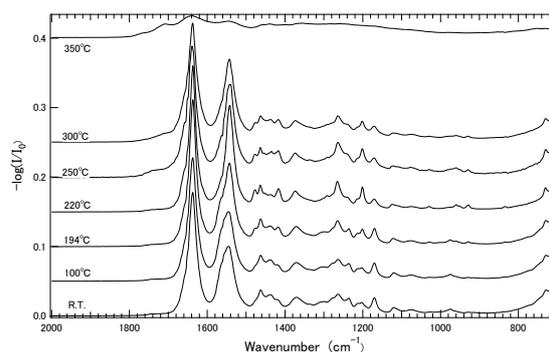


図3 ナイロン6の処理温度による赤外吸収スペクトルの変化 (2000-700 cm^{-1})

3. 評価結果

紙面の都合上、上記のすべてのサンプルのデータを示すことはできないので、本報告ではナイロン6のみの結果を示すこととした。図1にはTG-DTAにて測定した重量減少とDTA曲線を温度に対してプロットした結果を示した。

重量は加熱と共に徐々に減少していくことが分かる。DTA曲線における220°C付近の挙動は融解による吸熱ピークである。220°C付近の融解による重量減少の後に300°C以降の分解によると思われる重量減少の2段階の変化が認められる。

DTA曲線から加熱後の赤外測定はそれぞれ100°C、194°C、220°C、250°C、300°C、350°Cで行い、その測定結果を図2に示した。300°Cまでの加熱の間ではポリアミドのシグナルが明瞭に認められているが、350°Cのスペクトルではピーク幅が大きくなっており、劣化が急激に進行していることが分かる。また、220°Cで3300 cm^{-1} 付近のアミドのNH伸縮振動の幅が細くなっており、この温度近傍で結晶化が起こっていることが分かる。

図3には2000 cm^{-1} 以下の拡大した赤外スペクトルを示した。これより1720 cm^{-1} 付近の酸化物と思われるピークが250°C付近から見えていることが分かる。すなわち、酸化劣化は250°C付近

から始まっており、急激な劣化は300°C以降に起こることが分かる。また、1550 cm^{-1} 付近のアミドのNH変角振動のピークは伸縮振動と同様220°C付近でその幅が細くなっており、この領域のスペクトルからも結晶化の進行が観察される。また、1500-1100 cm^{-1} 付近の微細な吸収に関しても温度上昇とともに変化していることが観察され、化学構造解析に利用することができる。

これらのデータによって、たとえば劣化品・トラブル品が発生した場合に、どの程度の温度環境にあったかが推定できる。また、混入異物がどのような樹脂の劣化物なのかどうかなどの判断などにも用いることができると考えられる。これらのスペクトル変化から熱劣化のメカニズムを考察することも可能である。

4. 結 言

- (1) 樹脂の熱劣化にいたるまでの発熱・吸熱プロファイルを測定し、その変化に対応する赤外スペクトルを取得し、データベース化を試みた。
- (2) 取得されたデータをもとに成形品などのトラブルについてどのような温度環境にあったか、あるいは、異物についてどのような樹脂劣化物かを推定するために有効な情報を提供できるものと考えられる。

カプセル化技術を応用した新しいスペック染色法の開発

小林 泰則* 小海 茂美* 佐藤 清治*

Development of New Speck Dyeing Method Applied by Capsulating Technique

KOBAYASHI Yasunori*, KOKAI Shigemi* and SATO Seiji*

1. 緒 言

スペック染色は新潟県で行われている糸の斑染め手法である。糸に部分的な色の濃淡をつけることで色彩表現力を高める手法であり、一般的には直接染料を用いて主に織物用綿糸に行われている。

当研究所ではこれまで、スペック染色の高度化について、反応染料による羊毛および絹への染色¹⁾、多色化²⁾、チーズ染色機による染色³⁾、酸性染料の適用⁴⁾、カプセル化技術の適用⁵⁾等について検討してきた。

本報では昨年度検討したカプセル化技術の適用についてさらなる高度化を目指し、下記の内容について検討を行った結果について報告する。

- ① 直接染料によるカプセルスペック染色法の改良（染料カプセルの小型化，染料カプセルの濃色化）
- ② 反応染料によるカプセルスペック染色
- ③ 反応染料を用いたカプセルスペック染色による製品試作
- ④ カプセル化した還元剤を用いて糸を斑状に脱色する手法（カプセルスペック抜染法）の開発

2. 試験方法および結果

2.1 直接染料によるカプセル化スペック染色法の改良

本項では昨年度実施したカプセル化した直接染料による綿糸のスペック染色について、カプ

セルの小型化および染色部の濃色化について検討した結果について報告する。基本的な試験方法は既報⁵⁾と同様であるため省略するが、ノズル径をより細くして、原料液の染料濃度を上げて液の送り速度を調整したところ、カプセル粒径をより小さくすることができた。昨年度の手法で染色した糸と今年度改良した手法で染めた糸の比較を図1に示す。図1からわかるように、昨年度の手法で染色した糸と比べると、今年度改良した手法で染色した糸は染色部と無染色の部分のコントラストがよりはっきりと出ており、染色されている部分の一つ一つの面積が小さくなるという結果が得られた。

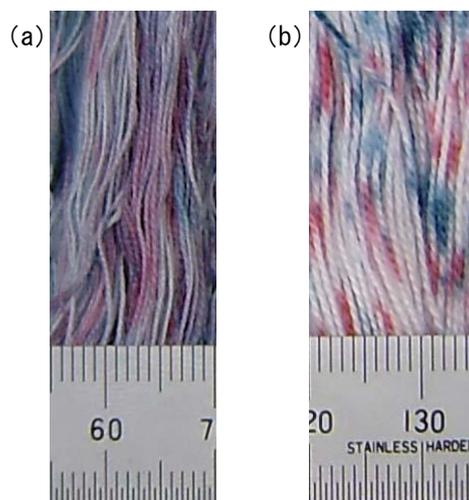


図1 カプセル径の小径化および濃色化
(a) 改良前, (b) 改良後

2.2 反応染料によるカプセルスペック染色

本項では反応染料を用いたカプセルスペック染色について検討した結果について報告する。

* 素材応用技術支援センター

まず直接染料と同等の方法で反応染料によるカプセルスペック染色が可能かどうか検討した。ここで、反応染料を用いた染色では直接染料による染色と異なり、染料の他にアルカリや無機塩等の染料助剤が必要となるため、それらの助剤を染色プロセスのどの段階でどのようなやり方で投入するかが問題となる。

そこで、反応染料の種類（銘柄）、助剤の種類や量、添加方法等について様々な条件を検討した。その結果、反応染料による染色では直接染料と比較するとスペック部分を濃色に染めることが難しく、糸全体が薄く染色されてしまつて染色部と非染色部のコントラストを高くすることが難しいことが明らかとなった。その中でも比較的良好と思われる処理条件によって染色した糸の外観を図2に示す。



図2 反応染料を用いたカプセルスペック染色結果（2例）

2.3 カプセルスペック染色による製品試作

上記手法にて染色した綿糸を用いて株式会社カワノ（五泉市）に編成を依頼して製品試作を行った。試作物は婦人物春夏セータとした。それを図3に示す。前項で述べた通り、反応染料によるカプセルスペック染色では濃色に染めることが難しかったため、全体として淡い色調となった。



図3 反応染料を用いたカプセルスペック染色糸による製品試作

2.4 カプセル化した還元剤を用いて糸をスペック状に脱色する手法の開発

本項ではカプセル化法を抜染に応用した結果について報告する。具体的には、還元剤を内包したカプセルを作製し、それを用いて染色された糸をスペック状に抜染することを検討した。その結果を図4に示す。図4に示すように、適



図4 還元剤のカプセル化による抜染結果 (a) 糸全体が抜染された例, (b) ほとんど抜染されなかった例, (c) スペック状に抜染された例

切な処理液組成および処理プロセスにより還元剤のカプセル化によるスペック状抜染が可能であることが示された。

3. 結 言

以上をまとめると、以下のようになる。

- (1) 直接染料によるカプセルスペック染色法を改良し、よりスペックが小さい、より高コントラストなスペック染色を実現した。
- (2) 反応染料によるカプセルスペック染色について検討し、スペック染色が可能な処理プロセス条件を探索した。
- (3) 反応染料を用いたカプセルスペック染色による製品試作を実施した。
- (4) カプセル化した還元剤によるスペック抜染法について検討した結果、実用化の可能性を示すことができた。

参考文献

- 1) 菊地孝之ほか，“商品の企画提案力を増大するための「モノ作り」に関する研究”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.29，2000，p105.
- 2) 古畑雅弘ほか，“繊維素材の複合化に関する研究”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.31，2002，p113.
- 3) 武内雅敏ほか，“自動小口染色システムの実用化試験”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.33，2004，p78.
- 4) 毛利敦雄ほか，“化学加工による編織素材の開発”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.34，2005，p86.
- 5) 渋谷恵太ほか，“スペック染色技術の継承および改良”，新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書，No.40，2011，p35.

LED 光源の演色性評価

阿部 淑人* 星野 公明* 須田 孝義* 橋詰 史則* 石井 啓貴*

An Evaluation of Color Rendering Property of Light Emitting Diode Base Illuminations

ABE Yoshito*, HOSHINO Kimiaki*, SUDA Takayoshi*, HASHIZUME Fuminori* and ISHII Hiroataka*

1. 緒 言

環境保護への意識が高まり、また電力供給の不安定が心配される中、LED 照明が本格的に普及するようになってきた。電力効率の点では 1W あたり 60lm (ルーメン) から 150lm 程度と高効率であることや長寿命であることから、置き換え需要を狙って大手電機メーカーの他に異業種も参入して極めて多種の照明器具が発売されている。しかしながら、従来の白熱灯や蛍光灯と比べて発光スペクトルが異なるため、色合いが違って見えるという現象が発生する。どれくらい色合いを忠実に再現できるかの指標を演色性と呼び、JIS Z8726 に測定方法が示されている。下越技術支援センターでは近年、照明器具の照度や発光スペクトルの測定などの技術支援が増えているため、LED 光源を始めとした複数の光源についての演色性の評価を実施した。その概要を報告する。

以降の章では、ヒトの色覚および演色性評価の規格といくつかの照明具の演色性評価結果について述べる。

2. 演色性評価について

2.1 ヒトの色覚

演色性は、光源スペクトルが物体の色の見え方に及ぼす影響の尺度である。物体の色は光源スペクトルと物体の反射・透過スペクトルとヒトの視覚の分光感度(等色関数)をかけ合わせた結果として認識される。ヒトの錐体細胞が LMS の 3 種あり、それぞれが異なる

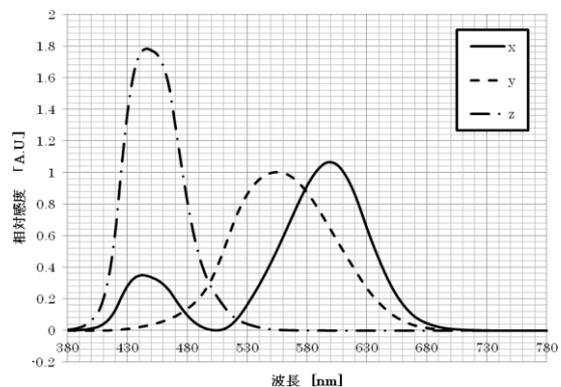


図 1 等色関数

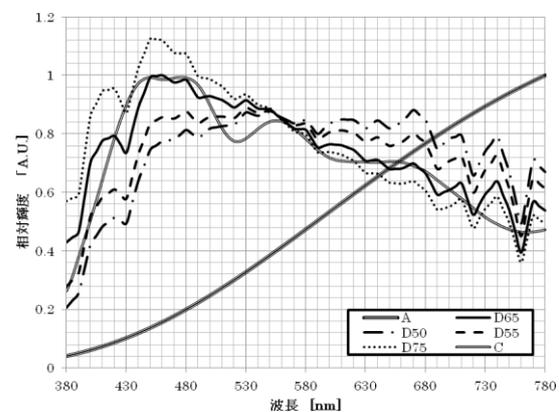


図 2 標準光源の発光スペクトル

波長域で高い感度を有している。図 1 には 2° 視野の等色関数を示す。長波長側(600nm)付近に高い感度を有する x, 中波長域(550nm)付近に高い感度を有する y, 短波長側(450nm)付近に高い感度をもつ z の 3 値の特性からなっている。

* 下越技術支援センター

2.2 演色性評価の規格

JIS Z8720¹⁾には「測色用標準イルミナント（標準の光）及び標準光源」として標準光源 A，標準光源 D65，補助光源 D50，補助光源 D55，補助光源 D75，補助光源 C の相対分光分布が示されている。この発光スペクトルを図 2 に示す。また，JIS Z8724²⁾には「色の測定方法 — 光源色」として光源色の測定方法が示され，JIS Z8725³⁾には「光源の分布温度及び色温度・相関色温度の測定方法」として光源の相関色温度測定方法が示されている。そして，JIS Z8726⁴⁾には「光源の演色性評価方法」として本研究で評価する色再現の鮮やかさの測定方法が示されている。本研究ではこれらの規格に基づいて照明具に用いられる複数光源の演色性を評価した。

光源の演色性評価の手順は，所定の反射率特性を有する試験色（図 3 に試験色No.1～No.8 およびNo.9～No.15 の外観を示す）を試験光源と，比較対照の基準光源でそれぞれ測色した場合に色差がどうなるかを数値計算して算出すると定められている。そのため必要な測定は光源の相対分光分布であり，そこから相関色温度を求め，その後に対応する色温度の基準光源スペクトルを算出する。最終的に，同じ試験色を 2 つの光源を用いてそれぞれ測色した場合の色差を算出することで演色性が評価される。以下順を追って説明する。

- (1) JIS Z8724 に従い，モノクロメータ式かポリクロメータ式の分光光度計/分光輝度計を用いて試料光源の測光を行う。演色性の評価のためには，380nm から 780nm まで 5nm 間隔の相対分光分布が必要である。
- (2) JIS Z8725 に従い，試料光源の相関色温度を求める。
- (3) JIS Z8720 に基づいて，基準光源の相対分光分布を求める。
- (4) 光源の分光分布と等色関数の積和から，光源色の 3 値刺激値 XYZ と CIE1960UCS 色度 u,v を求める。
- (5) 試験色の分光分布と光源の分光分布，等色

関数の分光分布から 3 値刺激値 XYZ と CIE1960UCS 色度 u,v を求める。

- (6) 試料光源の色度座標と試験色の色度座標に対応する色順応の補正を行う。
- (7) CIE1960UCS 色度 u,v から CIE1964WUV 表色系に色変換する。
- (8) 試験色毎に，WUV 空間上のユークリッド距離となる色差 ΔE_i を算出する。
- (9) 各試験色に対する特殊演色評価数 R_i を $R_i=100-\Delta E_i$ として求める。
- (10) 平均演色評価数を特殊演色評価数 $R_1\sim R_8$ の算術平均で $R_a=1/8 \sum R_i$ として求める。

2.3 演色性評価結果

ここでは，(a)RGB 三波長形 LED，(b)黄色蛍光 LED，(c)高演色性蛍光灯，(d)寒白色蛍光灯，(e)白熱灯を比較評価した。図 4 に各照明灯の発光スペクトルを示す。三波長形の LED 電球は 450nm,520nm,630nm がピーク波長であった。黄色蛍光 LED は 445nm の青色発光ダイオードに 520nm～550nm 付近の黄色蛍光体を組み合わせたものである。この他に比較として高演色性と寒白色の蛍光灯，更に白熱灯を比較対象とした。

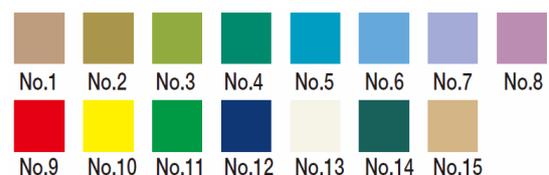


図 3 試験色の外観

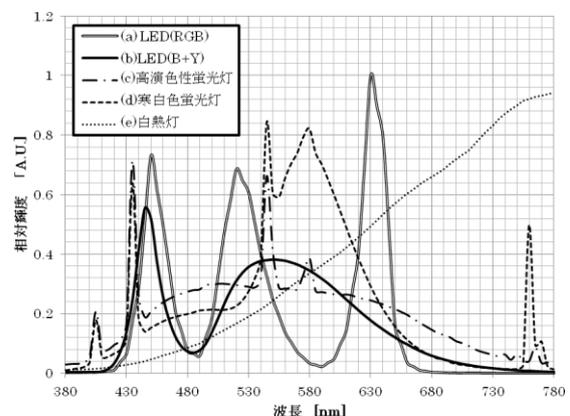


図 4 試験光源の発光スペクトル

このスペクトルから前述の手順に従って色度、
 相関色温度を算出した後に、対照の基準光源を
 決定して各試験色の色差を評価した結果を表 1
 に示す。なお、発光スペクトルの測定にはポリ
 クロメータ式の発光分光輝度計（大塚電子製
 MCPD100）を使用した。

色度：x, y

相関色温度：CCT

基準光源(STD)：CIE Daylight(DXX) or
 Plank Radiation(PXX)

平均演色評価数：Ra

特殊演色評価数：R1 ～R15

表 1 演色性評価結果

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
x	0.303	0.332	0.329	0.406	0.495
y	0.331	0.367	0.365	0.425	0.422
CCT	7030	5560	5650	3740	2360
STD	D70	D56	D57	P37	P24
Ra	49.9	68.0	86.5	56.0	97.4
R1	42.1	63.2	82.5	44.6	97.1
R2	90.1	71.6	88.4	70.1	97.5
R3	53.6	79.1	92.6	90.8	98.3
R4	32.1	68.8	85.4	45.8	97.0
R5	56.6	65.0	83.8	46.4	96.5
R6	84.9	62.6	84.9	57.2	96.3
R7	51.0	80.2	93.9	72.6	99.0
R8	-10.9	53.9	80.8	20.2	97.6
R9	-166.3	-48.4	40.1	-116.7	93.9
R10	81.5	34.1	72.7	32.2	94.7
R11	18.6	64.8	81.4	31.0	96.0
R12	81.6	36.0	78.9	32.4	92.2
R13	55.5	64.0	83.7	49.6	96.8
R14	70.8	88.3	95.7	94.0	99.0
R15	24.2	54.9	78.9	32.9	96.8

三波長形 LED 光源はスペクトルが輝線に近
 いため平均演色評価数が 49.9 と低い値に過ぎず、
 黄色蛍光 LED も 68.0 に留まった。一般に、Ra
 が 80 未満のランプは、仕事や長期間の滞在には
 不適切とされているため使用が限定的になると
 想定される。演色性を改善した物も出回ってい
 るため、LED 光源を導入する際には全光束(lm)
 や効率(lm/W)の他に演色評価数(Ra)にも注意し
 て Ra の高いものを導入する必要がある。

蛍光灯については、高演色性型と寒白色の二
 種類で評価数に大きな差が見られた。LED でも
 同様であるが平均評価数の低い照明では、特に
 R8 と R9 の評価数が悪い傾向にある。R8 はマン
 セル表色系で 10P6/8 と表される紫色で、R9 は
 4.5R4/13 と表される彩度の高い赤色である。

白熱灯は理想的なプランク放射と近いスペク
 トルになるため、極めて高い演色性評価数を示
 した。

この評価方法の特徴として、試験光源の相関
 色温度により対応する基準光源の色温度を合わ
 せて評価を行うことから、色温度の異なるもの
 の同士で演色性を比較する場合には判断に注意が
 必要である。

3. 結 言

- (1) 近年普及が始まった LED 光源について演
 色性の評価を行った。
- (2) 試験に用いた LED 光源は、比較した蛍光灯
 や白熱灯に比べて演色性が劣ることが分か
 った。今後は演色性の優れた製品の開発が
 期待される。

参考文献

- 1) JIS Z 8720:2000 測色用標準イルミナント
 (標準の光) 及び標準光源
- 2) JIS Z 8724:1997 色の測定方法 — 光源色
- 3) JIS Z 8725:1999 光源の分布温度及び色温
 度・相関色温度の測定方法
- 4) JIS Z 8726:1990 光源の演色性評価方法

光沢部材・非光沢部材の反射率角度依存性評価

阿部 淑人* 星野 公明* 須田 孝義* 橋詰 史則* 石井 啓貴*

An Evaluation of Angular Dependence of Reflection in Glossy and Matte Materials

ABE Yoshito*, HOSHINO Kimiaki*, SUDA Takayoshi*, HASHIZUME Fuminori* and ISHII Hiroataka*

1. 緒 言

様々な機能性表面部材の反射率特性を測定する要求に応えるために、変角測定ユニットを装着した分光光度計を導入した。典型的な鏡面反射特性を有する金属の研磨板と、理想的な拡散反射特性と白色性を有する Spectralon® (フッ素樹脂の粉末加熱成形品。米国 Labsphere 社の登録商標) について、反射率の角度依存性を評価したので報告する。また、ガラスの反射率からブリュースター角を求めて屈折率を測定したので併せて報告する。

2. 変角反射率測定の方法と結果

2.1 反射率の角度分布

変角反射率測定ユニットではベースライン測定のためにまず、直進入射光量を測定しておいてその値を 100% とする。その後ゴニオステージを回転して試料面への入射角を 45° にし、受光角を変更しながら反射率を測定した。なお、光源の波長を 555nm とし、偏光子を 45° (N 偏光) とした。

SUS 板の測定結果と Spectralon® の測定結果をそれぞれ図 1 と図 2 に示す。反射率の分布関数であるため縦軸横軸は任意係数である。SUS 板の研磨品では、実線で示したように反射角 45° の近傍で強い鏡面反射があり、それ以外の角度では急激に反射率が低下することがわかる。一方非研磨品では、破線で示したように研磨品の鏡面反射に比べて低い反射率ではあるが、

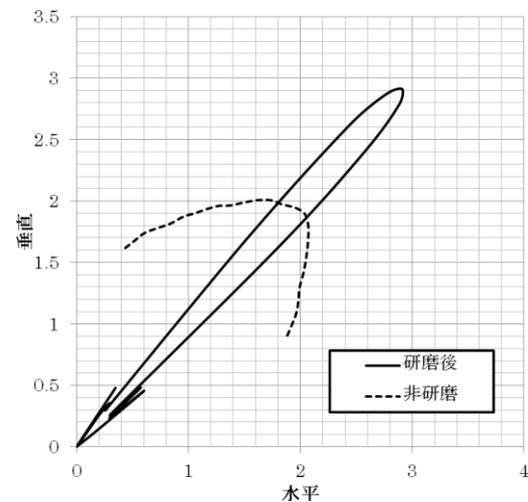


図 1 SUS 板の反射率特性

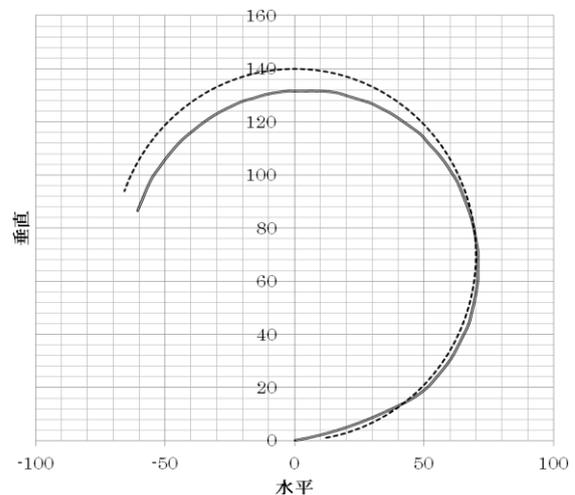


図 2 Spectralon® の反射率特性

比較的広い角度に渡って反射率を維持していることがわかる。マクロに見れば拡散反射に近い特性であるが、ミクロに見ると粗面の様々な方向への正反射の分布であると思われる。

* 下越技術支援センター

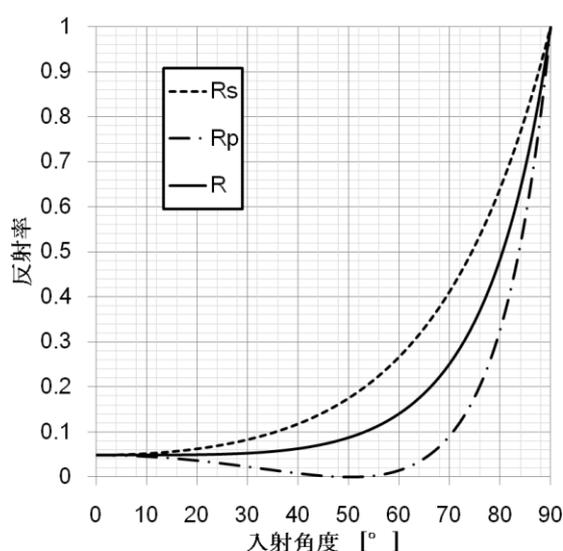


図3 反射率の入射角度依存性

Spectralon®では 45° から入射した光が実線で示したように概ね等方的に反射している。破線で示した理想的なランベルト反射の反射率と比べてみると極めてよい拡散反射特性を示していることがわかる。

2.2 反射率の角度依存性による屈折率測定

物質に固有の屈折率によって反射率の入射角度依存性が発生する。図3にはフレネルの式によって算出した屈折率 1.567 のガラスの反射率角度依存特性を示している。横軸は入射角で、縦軸は正反射率を表している。0°入射は法線方向からの入射を表し、入射角度が増えるほど反射率が增加することがわかる。実線は無偏光(N偏光)を表し、破線はS偏光、一点鎖線はP偏光を表している。この図を見るとわかるように、P偏光では一旦反射率が減少して0になったあとに再び増加している。この反射率が0となる角度をブリュースター角といい、ブリュースター角を測定することにより逆に屈折率を推定することができる。

変角反射率測定ユニットではベースライン測

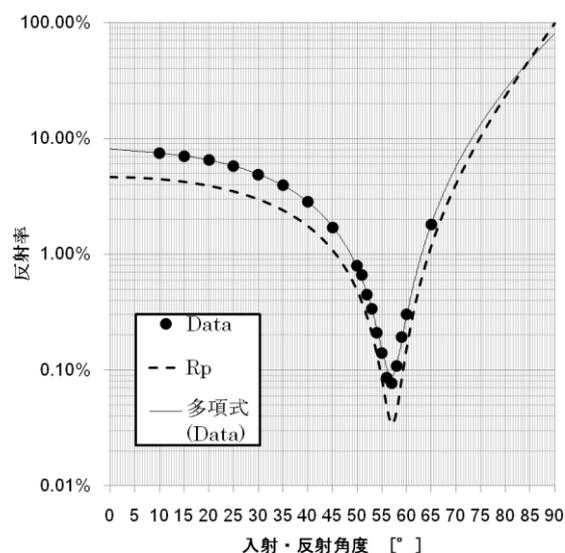


図4 ガラスの反射率角度依存性

定のためにまず、偏光子をP偏光に設定し、直進入射光量を測定しておいてその値を100%とする。その後ゴニオステージを回転して、試料面への入射角と出射角をそれぞれ10°から5°刻みに65°まで測定する。極小値を示す付近を再度より詳細に角度を変化して測定する。

なお、光源の波長を555nmとした。測定結果を図4に示す。横軸に入射・反射角度、縦軸に反射率を対数軸間隔で示した。黒丸が実測値で細線が多項式近似曲線である。黒破線はガラスの屈折率を変化して極小値が近似曲線に一番近かった屈折率1.55の場合の理想反射率を示している。実際の物質では、内面での散乱後の反射などの現象もあるため、理想的な反射率とは異なると考えられる。

3. 結 言

- (1) 分光光度計とゴニオステージを用いて鏡面反射・拡散反射の特性を測定した。金属の鏡面反射が表面の研磨具合により異なり拡散度に差が出るのがわかる。
- (2) P偏光の反射率角度依存性を測定することで、ガラス等の屈折率を推定した。

メッキ皮膜の作成と評価

渡邊 亮* 内藤 隆之*

Coating and Analysis of Trivalent Chromate Treatment on Zinc plating

WATANABE Ryo* and NAITO Takayuki*

1. 緒言

防錆技術の重要な技術の1つとしてメッキ技術がある。金属加工業が盛んな新潟県において主要な防錆技術となっており、自動車部品、機械部品、建築資材など用途に合わせて様々なメッキ処理が行われている。とりわけ亜鉛メッキは一般的に広く用いられている。

耐食性向上のために亜鉛メッキ上にクロメート処理が行われる。現在、クロメート処理液は環境対策から6価から3価へ移行しつつある。一般的に3価のクロメートは6価のクロメートに比べ溶液管理や仕上がり時の外観の均一性が難しいといわれている。

製造工程確認のために3価クロメート処理を実際に市販液を用いて行い、メッキ皮膜中に含まれる元素について分析とメッキ皮膜の耐食性評価を行った。

2. メッキ皮膜の作成

2.1 材料

2.1.1 試薬

pH調製、酸洗浄で使用した酸・塩基は以下の試薬を用いた。

- ・硝酸（特級，和光純薬工業（株）製）
- ・苛性ソーダ（特級，和光純薬工業（株）製）

2.1.2 基材

メッキ皮膜を作成する試験片として汎用鉄板を用いた。

2.1.3 亜鉛メッキ浴

亜鉛メッキ浴1 lは700 mlの純水に苛性ソーダ85 g及び日本表面化学（株）製D-305[®]、9000A[®]、9000BS[®]をそれぞれ59 ml、12 ml、1 mlを混合して調製した。

2.1.4 3価クロメート処理液

クロメート処理液として以下の4種類を調製した。調製濃度はそれぞれメーカー推奨濃度域¹⁻⁴⁾の中央値になるように調製。

- ・処理液①—純水に日本表面化学（株）製のトラライナーTR-160A[®]と硝酸を75 ml/l、1 ml/lの濃度になるよう加え、硝酸でpHが2.0になるよう調製した。
- ・処理液②—純水に日本表面化学（株）製の5T090A[®]を50ml/lの濃度になるよう加え、硝酸でpHが2.0になるように調製した。
- ・処理液③—純水に日本表面化学（株）製のトラライナーTR-173A[®]とトラライナーTR-173B[®]を150 ml/l、5ml/lの濃度になるよう加え、硝酸でpHが2.0になるように調製した。
- ・処理液④—純水に日本表面化学（株）製のトラライナーTR-175S[®]とトラライナーTR-175R[®]を100 ml/l、50 ml/lの濃度になるよう加え、硝酸でpHが2.0になるように調製した。

2.2 メッキ皮膜作成工程

メッキ皮膜作成の工程を表1に示す。メーカー推奨の方法では処理液③、④においてクロメート処理時間15秒は短い但他の処理液との処理時間を合わせるため、この処理時間に決定した。

* 下越技術支援センター

表1 メッキ皮膜作成工程

順序	作業内容(温度)	処理時間
①	酸洗浄(室温)	数秒
②	水洗(室温)	数秒
③	水洗(室温)	数秒
④	アルカリ中和(室温)	数秒
⑤	亜鉛メッキ	25分
⑥	水洗(室温)	数秒
⑦	水洗(室温)	数秒
⑧	硝酸浸漬(室温)	数秒
⑨	水洗(室温)	数秒
⑩	クロメート処理(25℃)	15秒
⑪	水洗(室温)	40秒
⑫	水洗(室温)*	15秒
⑬	乾燥(60℃)	数分

* 処理液①を使用した処理の時は湯洗(55℃)

3. メッキ皮膜の評価

3.1 EPMAによる表面の分析

EPMA; 日本電子(株)製JXA-8100を用いて分析を行った。

3.2 塩水噴霧試験

スガ試験機(株)製STP-90V2で塩水を24時間噴霧した。

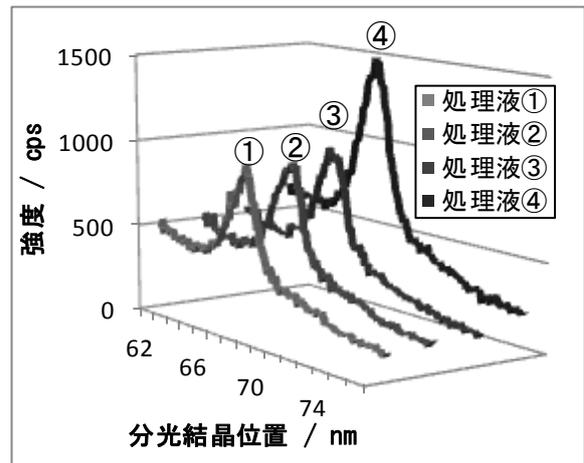
4. 結果

4.1 EPMAによる表面分析の結果

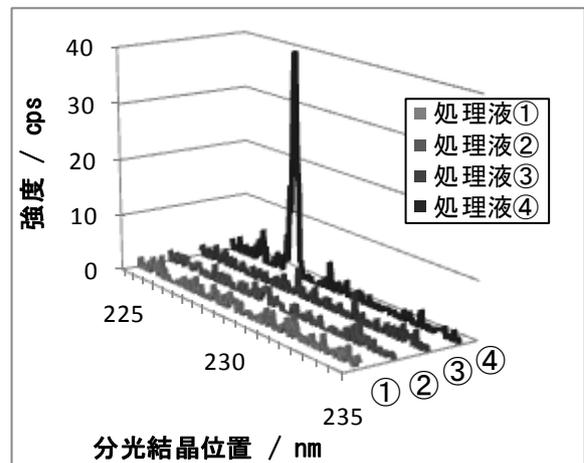
EPMAによるクロメート皮膜の測定結果を図1に示す。

処理液④で処理した試験片から他の処理液で処理した試験片より強い酸素由来のシグナルが確認できた(図1(a))。これは、耐食性向上のために処理液に加えてあるシリカにより(図1(b)), より強く酸素由来のシグナルが出たと考えられる。

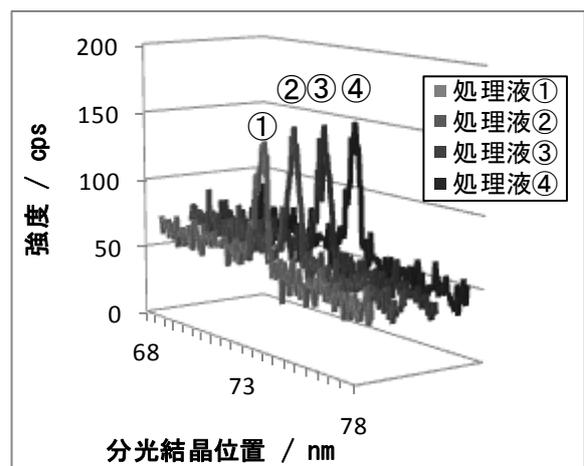
また、処理液①で処理した試験片は他の処理した試験片より若干クロム由来のシグナルが弱かった(図1(c))。



(a) 酸素のピーク周辺部のみ拡大



(b) ケイ素のピーク周辺部のみ拡大



(c) クロムのピーク周辺部のみ拡大

図1 EPMAによるクロメート皮膜の分析結果

表2 塩水噴霧試験結果

処理日	処理液 ①	処理液 ②	処理液 ③	処理液 ④
1/11	○	○	○	○
1/18	○	○	○	○
1/25	○	○	○	○
2/1	○	○	○	○
2/8*	△	○	○	○
2/15	△	○	○	○
2/23	×	○	○	○
2/29	×	○	○	○

○：錆の発生なし，△：白錆発生，×：赤錆発生

*：処理液④で処理した試験片は2/9作成

4.2 塩水噴霧試験の結果

試験片に塩水噴霧処理を24時間した結果を表2に示す。処理液①でクロメート処理を行った試験片に錆が発生した。処理液②～④で処理した試験片には錆が発生しなかった。今回の処理の中では処理液①を用いたものが一番耐食性が劣ることが分かった。処理液①以外の耐食性の評価には24時間以上の塩

水噴霧処理が必要であることが分かった。

これは塩水噴霧試験の結果とEPMAによるクロメート皮膜中のクロムの量と相関関係があると考えられる。皮膜中のクロムの量が少ないために塩水噴霧試験で処理液①で処理した試験片のみ錆が生じたことの説明がつく。

5. 結 言

- (1) 耐食性向上のため処理液④にはシリカが含有していることが分かった。
- (2) 処理液②～④で処理した試験片は塩水噴霧試験に24時間以上耐えることが分かった。
- (3) 皮膜中のクロム含有量と耐食性には相関関係があると確認できた。

参考文献

- 1) ジャスコ トライナーTR-160, 日本表面化学(株)
- 2) ジャスコ 5T090, 日本表面化学(株)
- 3) ジャスコ トライナーTR-173, 日本表面化学(株)
- 4) ジャスコ トライナーTR-175S,R, 日本表面化学(株)

ヘキサンを用いたクロメート廃液中の油分抽出法

渡邊 亮* 内藤 隆之*

Quantification of *n*-Hexane Soluble Matter Extracted from Waste Water of Electroplated Coatings of Chromium

WATANABE Ryo* and NAITO Takayuki*

1. 緒言

県内のめっき業者において、クロムメッキ廃液へアルカリ脱脂廃液を誤って混ぜた廃液（以下、混合メッキ廃液）に還元剤が添加されたまま、その後処理されずに長期間放置されていたため、この混合メッキ廃液中に分散していた油分が一部固化浮上し、液面を部分的に覆っている状況にあった。

当該めっき業者では、混合メッキ廃液中の油分除去について一般的なフィルターの利用を検討したが、硫酸とクロム酸を豊富に含むため使用できなかった。（実際にこの液が付着したフィルター素材は著しく劣化した。）そこで耐薬品性を考慮して、活性炭の利用による油分除去について検討することを提案した。

本研究では、活性炭として油分吸着用に販売されている進展工業株式会社製オイルワイパー[®]（以下もみ殻活性炭と略す）に着目した。混合メッキ廃液にもみ殻活性炭を適宜添加して、JIS K0102の24ヘキサン抽出物質¹⁾に準拠した抽出操作を行い、油分除去効果を比較した。

2. 実施方法

2.1 前処理操作

実験で使用した混合メッキ廃液は、細粒状の固形油分が採水中に浮遊（混在）しており、これが以降の抽出操作で誤差の原因となる。そこで、ガラスろ過器(1G3)を用いて、採水中から細粒状の固形油分を除去し、ろ液をねじ付き褐色瓶に保存し

* 下越技術支援センター

た。

2.2 もみ殻活性炭による混合メッキ廃液中の油分吸着操作

200 ml ビーカーに2.1で処理したろ液（もみ殻活性炭を入れない空試験の場合は100 ml、もみ殻活性炭を入れた本試験の場合は200 ml）と、もみ殻活性炭を入れ、3時間攪拌した後、ろ過（ろ紙5Bを使用、以下同じ）を行い、各ろ液を一晩静置した。操作条件を表1に示す。

2.3 ヘキサン抽出操作

本操作は混合メッキ廃液から*n*-ヘキサン（特級、和光純薬工業（株）製）で抽出できた成分を評価するために行った。主な抽出分は揮散しにくい鉱物油及び油脂等であるが、その他の物質も含まれる。操作手順は以下のとおり。また、操作条件を表1に示す。

- 1) 2.2の各ろ液を分取し（もみ殻活性炭を投入しなかった空試験液からは20 ml、もみ殻活性炭を投入した液からは50 ml）、分液ロート（以下、分液ロート①）に加え、メチルオレンジを指示薬として、液が赤みがるまで塩酸を加えた。
- 2) ヘキサン20 ml分液ロート①に加えて、激しく振った後に静置させて、液を水層とヘキサン層に分離させた。水層をビーカーに、ヘキサン層を別の分液ロート（以下、分析ロート②）に分けた。
- 3) ビーカーに受けた水層を分液ロート①に戻し、ヘキサン20 mlを加えて激しく振った後に静置させて、液を水層とヘキサン層に分離させた。水層

表1 抽出操作条件

もみ殻活性炭濃度(g / l)	混合メッキ廃液使用液量(l)	もみ殻活性炭使用重量(g)	油分吸着操作後のヘキサン抽出操作で使用した廃液量(ml)
0	0.1	0	20
2.5	0.2	0.5	50
5.0	0.2	1	50

は捨て、ヘキサン層は分液ロート②に合わせ、ヘキサン20 mlを分液ロート①に加えて激しく振った後に、分液ロート②に合わせた。

- 4) 分液ロート②に純水を入れて洗浄した。洗浄は数回繰り返し、最後に分液ロート②の中にヘキサン層だけ残した。なお、洗浄とは水を入れて激しく分液ロートを振った後に静置させて、液を水層とヘキサン層に分離させ、ヘキサン層だけ残し、水層の水は捨てる操作のこと。
- 5) 分液ロート②の中に無水硫酸ナトリウム5 gを加えてヘキサン層中の残留水分を除去した。
- 6) あらかじめ秤量ビンの空重量(W_b)を測定しておき、その秤量ビンに分液ロート②の脱水ろ過したヘキサン層をろ過を通して移し(無水硫酸ナトリウムが混入しないように注意)、秤量ビンを汚染させない様に処置したホットプレート上で加熱(80°C前後)してヘキサンを揮散除去した。
- 7) この秤量ビンを経80°Cに保持した恒温槽に30分間入れて乾燥した。
- 8) この秤量ビンをデシケーターに入れて冷却後、重量(W_a)を測定した。

油分抽出量(C)及び油分除去率(X)は、以下の式(1)及び式(2)により求めた。

$$C(\text{mg/l}) = \frac{W_a - W_b}{V}(\text{mg/l}) \quad (1)$$

ここに、

- C : 油分抽出量(mg/l)
- W_a : ヘキサン揮散後の重量(mg)
- W_b : 秤量ビンの空重量(mg)
- V : 1回の抽出操作に使用した混合メッキ廃液の液量(l)

$$X(\%) = \left(\frac{\bar{C}_0 - \bar{C}}{\bar{C}_0} \right) \times 100(\%) \quad (2)$$

ここに、

- X : 油分除去率(%)
- \bar{C} : 本試験の平均油分抽出量(mg/l)
- \bar{C}_0 : もみ殻活性炭を投入しなかった空試験の平均油分抽出量(mg/l)

3. 結果および考察

分析結果を表2に、もみ殻活性炭濃度と平均油分抽出量及び油分吸着量との関係を図1に示す。もみ殻活性炭の濃度と平均油分抽出量は比例し、混合メッキ廃液中に分散されている油分が除かれていく傾向が確認できた。さらに、油分除去率では、もみ殻活性炭濃度が5.0 g/lのとき9割程度に達する結果が得られ、もみ殻活性炭による混合メッキ廃液中の油分除去の有効性が示された。

以上のことからもみ殻活性炭を使用してメッキ液から油分の除去ができ、その後の混合メッキ廃液の処理が通常の操作で可能であると考えられる。

さて、今回の測定によって、混合メッキ廃液中に分散した油分量が16.0 mg/l(空試験値)であることを確認でき、大半が固化浮上油として液面にあることがわかった。今後の廃液処理における油分除去では固化浮上油のろ過に止め、廃液中に分散した油分の除去について、その実施の有無を検討する余地はあるものと考えられる。

表2 分析結果

もみ殻活性炭 濃度 (g / l)	油分抽出量 C (mg / l)				標準偏差	油分除去率 X (%)
	1	2	3	平均		
0	13.5	22.0	12.5	16.0	5.2	0
2.5	9.2	9.8	12.2	10.4	1.6	35
5.0	1.2	2.4	1.8	1.8	0.6	89

4. 結 言

混合メッキ廃液にもみ殻活性炭を添加して、JIS K0102の24ヘキサン抽出物質に準拠した抽出操作を行って、混合メッキ廃液中に分散した油分の除去効果を比較した結果、以下のことが確認できた。

(1) 混合メッキ廃液からの平均油分抽出量は、もみ殻活性炭の添加濃度と比例関係にあった。

(2) 混合メッキ廃液からの油分除去率は、もみ殻活性炭の添加濃度が 5.0 g/l のとき 9 割程度となった。

参考文献

1) 財団法人 日本規格協会, 工場排水試験方法 JIS K0102, 2008, p.58-64.

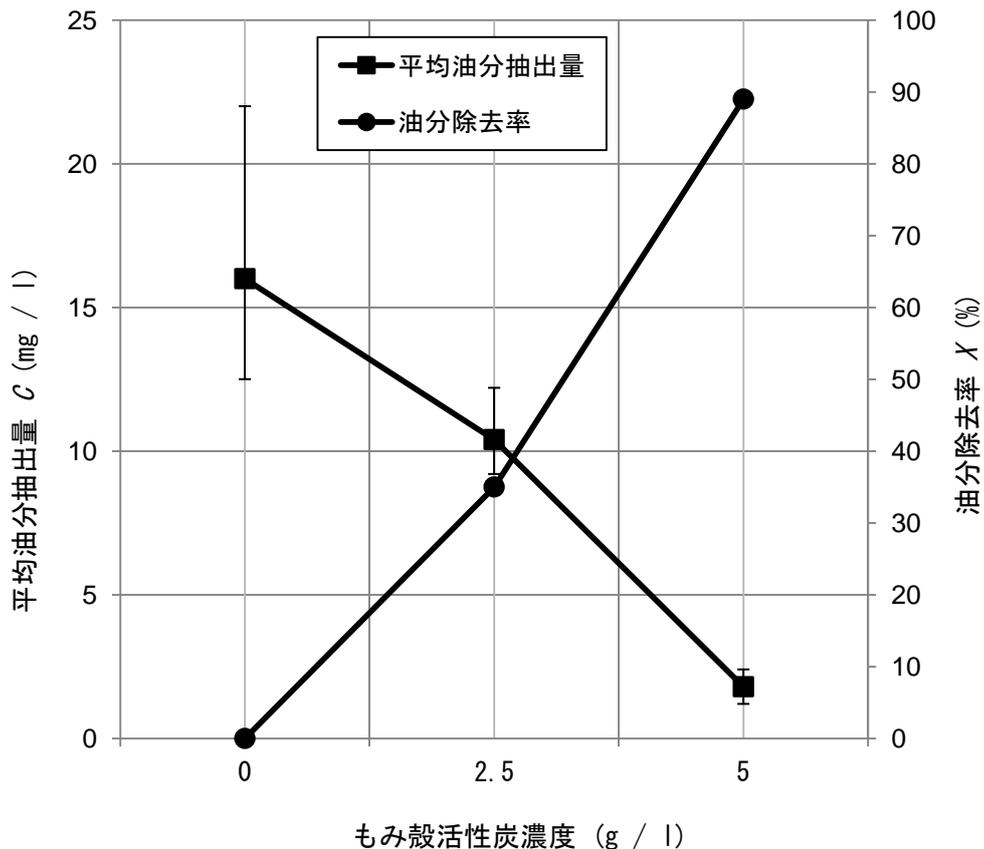


図1 平均油分抽出量の変化と油分除去率の変化

ねじ締結体の振動試験

斎藤 雄治* 長谷川 直樹*

Fastener Vibration Test

SAITO Yuji* and HASEGAWA Naoki*

1. 緒言

ねじ締結は、部品同士の結合に広く用いられている。ねじ締結によって、ボルトには引張力が、被締結物には圧縮力がそれぞれ働く。これら引張力や圧縮力を締め付け力と呼ぶことにする。外力に対して締め付け力が十分な場合は、外力が作用してもねじが緩んだり容易に疲労破壊したりすることはない。しかし、ねじの締め付けが不十分であったり、激しい衝撃などの過大な外力が作用すると、締め付け力が低下してねじが緩みやすくなる。ねじが緩んだ状態で機械や設備を使い続けると、ねじが外れたりボルトが折損¹⁾して事故につながる恐れがある。このため、適正な締め付け力の管理やダブルナットなどの緩み止めの使用²⁾といった必要な対策がとられている。

ねじの緩みに対しては、ねじ締結体に衝撃力を繰り返し加える振動試験^{3)~5)}がある。この試験の概要を図1に示す。図1において、試験ジグ本体にあけた長穴内でねじ締結体が自由に上下動するようになっている。試験ジグの本体を加振機に取り付けて規定の振動を加えると、ねじ締結体がこの長穴の上下端に繰り返し激しく衝突する構造になっている。

これまで、上記の振動試験は当研究所で実施していなかったが、加振条件を調べたところ、当研究所の振動試験機で加振できる可能性があることがわかった。

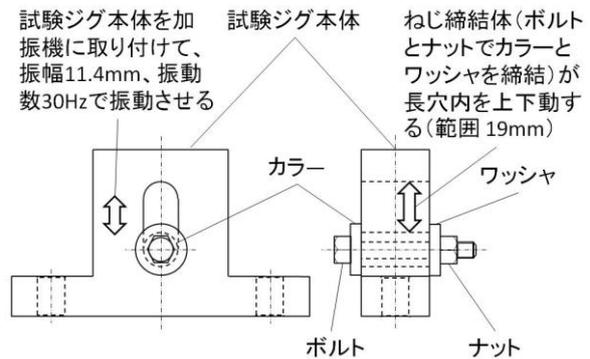


図1 ねじ締結体の試験の概要³⁾⁴⁾

本研究では、上記の振動試験を行うための試験ジグを試作し、それを振動試験機に取り付けて規定の条件で加振できるか検討を行った。

2. ねじ締結体の振動試験の規格

2.1 NASM1312-7⁴⁾

任意の締結体に対して、振動条件下における寿命の決定や締結方法の選定等を行うための振動試験が以下のように規定されている。

- ・加振条件：振幅 $0.450 \pm 0.015 \text{ in-p}$ ($11.4 \pm 0.4 \text{ mm-p}$)，振動数 $1750 \sim 1800 \text{ cpm}$ ($29.2 \sim 30 \text{ Hz}$)
- ・試験ジグ：図1に示すカラー，ワッシャ，および試験ジグ本体の長穴の寸法 ($0.19 \sim 0.625 \text{ in}$ ねじの各サイズに対して規定)

なお、試験の前処理や試験後の評価の方法等については、別途、製品仕様書などで定めることとしている。

* 中越技術支援センター

2.2 NAS3350⁵⁾

800° F (427°C) まで使用する高品質のセルフロックナットの仕様が規定されている。この規格の中で、セルフロックナットの振動試験（サイズは 0.19~0.625in ねじが対象）について、主に以下のことが規定されている。

- ・試験の前処理：試験ジグへのセルフロックナットの取り付け条件、高温での焼成条件など
- ・試験後の評価：ねじの緩みの有無、破損の有無

なお、試験条件については、NASM1312-7 を参照している。

3. 試験ジグの試作および動作確認

3.1 試験ジグ

2章の振動試験の規格で、市販の M6 ねじの振動試験を行うための試験ジグを製作した。ここで、2章の規格はインチねじに対するものであるため、本研究では、M6 ねじに最も寸法が近い 1/4in ねじ用の試験ジグを製作し、これを M6 ねじ用の試験ジグとした。

3.2 動作確認

3.1 節の M6 ねじ用の試験ジグに、市販の M6 ねじのボルトとナットを取り付け、試験ジグを振動試験機（IMV 社製、VS-1031-200）に図 2 のように取り付けた。ナットについては、試験中に緩まないようダブルナットにして取り付けた。なお、セルフロックナットの試験ではないため、NAS3350 で規定されている前処理は行っていない。

動作確認は、NASM1312-7 で規定されている振幅 11.4mmp-p、振動数 30Hz の加振条件で行った。M6 ねじ用の試験ジグと、企業が製作した M10 ねじ用の試験ジグ（NASM1312-7 に規定されている 7/16in ねじ用の試験ジグと同寸法とした）について、この条件で加振できることを確認した。



図 2 振動試験機に取り付けた試験ジグ

なお、加振中、ねじ締結体が試験ジグ本体の長穴の上下端に激しく衝突するため、その際の衝撃力を加速度ピックアップが検出して試験機が停止することがあったため、加速度ピックアップは試験ジグから離して取り付けた。

4. 結 言

- (1) 本研究で試作した M6 ねじ用の試験ジグと企業が製作した M10 ねじ用の試験ジグについて、当研究所の振動試験機に取り付けて、NASM1312-7 の条件で加振できることを確認した。
- (2) 本研究で検証していない M10 ねじを超える試験ジグについては、加振できるか事前に検証が必要である。

参考文献

- 1) 例えば、藤木榮，“100 事例でわかる機械部品の疲労破壊・破断面の見方”，日刊工業新聞社，2003 年，p70-71.
- 2) 井上紀明，“機械の損傷・破壊の原因と対策”，森北出版，2006 年，p137-138.
- 3) 林雅彦，“事例 4 最近のゆるみ止めナットと適用のポイント”，機械設計，第 50 巻，1 号，2006 年，p48.
- 4) NASM1312-7 (1997).
- 5) NAS3350 (1963).

Ⅲ 調査・報告

工業技術総合研究所 研究会活動報告

工業技術総合研究所では、①ものづくり技術連携活性化事業、②新エネルギー産業形成事業、③夢プロジェクト調査研究事業にもとづく研究会を、平成 23 年度 11 テーマ実施しました。

研究会では、将来性を見込める有望な産業あるいは成長産業への参入を促進するという視点から対象産業分野の概況調査、市場ニーズや企業ニーズ等の調査、併せて小規模な研究も行いました。中でも、新エネルギーでは太陽光発電、EV（電気自動車）、小水力発電に絞って、また、夢プロジェクト調査研究では航空宇宙と植物工場を中心に調査を行いました。一方、ものづくり技術連携活性化事業においては、新規研究テーマ提案を目的とするもの、セミナーや勉強会を主体とするものに分けて活動いたしました。

研究会へは多くの参加者があり、総じて好評を得ました。その内容については今年3月に行いました「ものづくりイノベーションフォーラム」（ハイブ長岡）でも報告し、紙面やマスコミ情報では得られないことも情報提供することができました。一方、国等競争的資金へテーマ提案し、その一部は採択に至るなど、次の事業につながる取組みもありました。

以上のような活動をここにまとめて報告いたします。

平成23年度 工業技術総合研究所 研究会

①ものづくり技術連携活性化事業

- ・ 質感エンジニアリング
- ・ 表面技術
- ・ CFRP
- ・ 天然素材活用
- ・ 高信頼制御技術
- ・ 素形材

②新エネルギー産業群形成事業

- ・ 太陽光発電
- ・ EV（電気自動車）
- ・ 小水力発電

③夢プロジェクト調査研究事業

- ・ 植物工場
- ・ 航空宇宙

植物工場研究会報告

三村 和弘* 野中 敏*** 磯部 錦平* 矢内 悦郎** 内山 雅彦* 高橋 靖*

Report of Market and Technology Trends for Plant Factory

MIMURA Kazuhiro*, NONAKA Satoshi***, ISOBE Kohei*, YANAI Etsuro**,
UCHIYAMA Masahiko* and TAKAHASHI Yasushi*

1. 緒 言

近年、日本の農業問題がクローズアップされている理由として、海外からの安価な農産物の輸入、食糧自給率の低下、農家人口の減少や高齢化が上げられる。そこで昨今、安全・安心な農産物の周年供給を可能とする植物工場が注目されている。

本研究会は、昨年「排熱利用研究会」より提言された新エネルギーを利用した植物工場の可能性について調査研究し、植物工場設備に関する技術開発を行うことを目的とする。

2. 研究会の体制

2.1 会員について

植物工場に関してセミナーを実施して啓蒙普及を図り、その後、セミナー参加者を中心にコンソーシアムへの参加を募った。コンソーシアムでは、検討会議により技術課題を見つけ出し、県や国の競争的資金の獲得を目指した。その結果、会員は計 52 名（企業 23 社、1 大学、3 団体）となり、参加企業の業種は、食品関連、電機関連、建設関連、設備関連等の多岐の業種にわたった。

2.2 運営体制

実施にあたっては、下越技術支援センターが主体となり、（財）にいがた産業創造機構と連携しながら研究会活動を運営した。

* 下越技術支援センター

** 県央技術支援センター加茂センター

*** 工業技術総合研究所

3. 研究会活動

3.1 植物工場セミナー

勉強会は、有識者を招き植物工場の最新技術動向の情報提供セミナーを計 4 回行い、県外の新エネルギー利用の植物工場見学や養液栽培実習も行った。下記に演題と講師及び工場見学先等を記す。植物工場勉強会を図 1、見学先で実際に栽培を行っていたユニット型植物工場を図 2 に示す。

第 1 回：平成 23 年 6 月 1 日

「植物工場調査報告（1）」

三村 和弘（下越技術支援センター）

「植物工場調査報告（2）」

高橋 靖（下越技術支援センター）

第 2 回：平成 23 年 7 月 28 日

「まるっきり畑違いからアグリビジネスへ」

五唐 秀昭氏（（株）みらくるグリーン）

「植物工場の推進と支援策について」

堀川 昌昭氏（農林水産省生産局）



図 1 植物工場勉強会



図2 ユニット型植物工場



図3 植物工場栽培

第3回：平成23年9月30日

- ・「点滴灌水や養液栽培における給液管理について」

田川 不二夫氏

(ネタフィルムジャパン(株))

第4回：平成23年11月18日

- ・「植物工場におけるLED照明の可能性と実用例のご紹介」

荒 博則氏(昭和電工(株))

工場見学：平成23年9月15日～16日

- ・小水力発電利用の植物工場(都留市)
- ・太陽光発電利用の植物工場

(エスペック(株))

養液栽培実習：平成24年3月9日

- ・「養液栽培における培養液管理」

和田 光生氏(大阪府立大学大学院)

3.2 コンソーシアム活動

コンソーシアム全体会議は、計6回実施し、技術課題を討論するだけでなく、各会員企業の自社PRや得意技術等を発表し、意見交換を行った。また、(財)にいがた産業創造機構の市場開拓技術構築事業に応募するための検討会議も行った。

4. 最新技術調査等

最新技術や動向を入手するため、NPO法人植物工場勉強会主催のセミナーや各種の技術セ

ミナーを聴講するとともに、県内外の企業を訪問し、展示会等にも参加して技術調査を行った。下記に主な調査先を記す。また、図3に訪問先での植物工場の栽培風景を示す。

①セミナー・学会等

- ・NPO法人植物工場勉強会
- ・日本生物環境工学会
- ・養液栽培研究会
- ・富山大学夏期セミナー
- ・「植物工場による薬用植物」
- ・「LEDシステムによる植物工場」

②企業訪問等

- ・植物工場運営
(株)創カム
(有)グリーンズプラント巻
(有)松代ハイテクファーム
- ・小型植物工場
サンアロー(株)
(株)電通ワークス
(株)ワイ・エス・シー
(株)ifD
- ・植物工場研究
産業技術総合研究所北海道センター
青森県産業技術センター

③展示会等

- ・国際農業資材展 EXPO
- ・アグリイノベーション
- ・アグリビジネス創出フェア

5. 植物工場の委託調査事業

5.1 調査委託の概要

委託事業として「植物工場事業参入への可能性調査」（委託先：（財）新潟経済社会リサーチセンター）を実施し、植物工場の市場性や新潟県で採算のとれる植物工場野菜の作物調査等を行った。その結果、再生エネルギーを利用する方法やユニット型植物工場の多様な活用法が示され、栽培可能性のある作物として、薬用植物やハーブ類の他に新潟ブランドや新ブランドの作物が有望であることが明らかになった。

5.2 植物工場事業の方向性

植物工場事業への参入にあたって、コスト削減や販路開拓は当然であるが、その他に人材育成のシステムや専門コンサルタントの必要性が示された。

6. 研究会での提案

6.1 市場開拓技術構築事業への応募

コンソーシアム会議で議論をする中で、市場開拓技術構築事業¹⁾に応募することが決まり、応募に関して、最終的に6社が参加企業として、2社が協力企業として新たにコンソーシアムを結成した。また、中核機関は新潟大学とし、新潟県農業総合研究所食品研究センターと当所も参加した。

6.2 提案テーマ

検討会議で提案されたテーマは、「植物工場の新エネ活用によるZEB化（エネルギーゼロ）」であり、各企業が得意技術を駆使し、課

題を克服するためのテーマである。

内容に関しては、新エネルギー分野での研究開発であり、植物工場で使用するエネルギーの効率化・省エネ化を目指し、最終的にエネルギーゼロ化を実現するものである。

7. 結 言

- (1) 植物工場セミナーを実施し、植物工場の啓蒙普及を図った。植物工場事業に関して、セミナー参加者を対象にし、参加企業の業種や事業参入への障壁を調査した結果、本来の農業よりは、製造業や建設業などの異業種分野からの参加が多いこと、採算性や販路開拓が事業参入への妨げであることが明らかになった。
- (2) 最新調査や調査委託により、現在の最新技術を把握し、研究会で内容を報告した。また、事業参入にあたって、人材育成やコンサルタントの必要性が明らかになった。
- (3) コンソーシアム結成が実現し、県内企業の得意技術を用いて技術課題を克服するための研究テーマが提案された。今年度は、残念ながら採択に至らなかったが、来年度も継続して、コンソーシアムで検討会議を開催する予定である。

参考文献

- 1) （財）にいがた産業創造機構 HP（2012年3月27日閲覧），
<http://www.nico.or.jp/modules/list/sijoukaitakugijutsu.html>

航空宇宙分野調査報告

相田 収平* 三浦 一真* 石川 淳** 須藤 貴裕*

Report of Market and Technology Trends of Aerospace Industries

AIDA Shuhei*, MIURA Kazuma*, ISHIKAWA Atsushi** and SUTOH Takahiro*

1. 緒 言

中国やインドといった新興国の旺盛な経済活動や生活水準の向上を背景とした航空機需要は高く、今後 20 年の全世界での民間航空機需要は約 31,000 機と予測されている。一方、日本においても三菱リージョナルジェット機 MRJ の初飛行が 2012 年に予定されており、2020 年代には現在の約 3 倍となる 3 兆円超に成長すると予測されている有望な産業分野である。

新潟県では、県内産業の高付加価値化を推進する目的で、平成 23 年度夢プロジェクト調査研究事業として、「航空宇宙」分野に関する市場や技術の先進情報を集め、この分野への企業の参入可能性について調査を行い、セミナーや研究会活動を通じてこれら最新情報の提供を行った。

本報告では、世界および日本の航空宇宙産業の技術と市場の両面において俯瞰した。また、複数の新機種開発が計画されており、市場への参入に良いタイミングである航空機エンジン分野について、市場と技術動向、ならびに県内企業の参入可能性と課題の抽出を行った。

2. 世界および日本の航空宇宙産業

2.1 世界の航空宇宙産業

世界の主要な航空宇宙産業の売上高（暦年）を図 1 に示す。主要 6 ヶ国の 2009 年の売上高は約 3,600 億ドルであり、その約 5 割にあたる 1,800 億ドルをアメリカが占めている。一方、

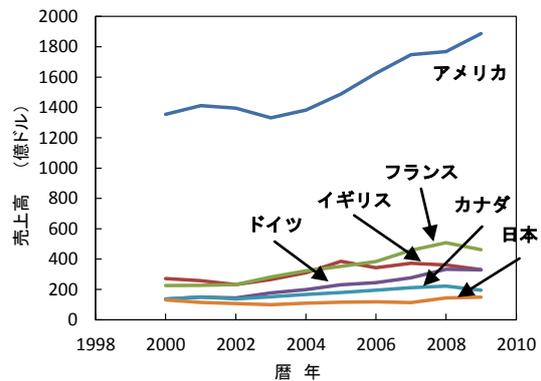


図 1 世界の航空宇宙産業売上高
SJAC「平成 23 年版世界の航空宇宙工業」より作成

日本は約 150 億ドルであり、アメリカの 1/13 程度の規模である。

今後約 20 年間の航空旅客の需要予測は、世界全体で年平均約 5.1%の伸びが見込まれている。これに対応する民間航空機材の需要は 2029 年までに 31,000 機、年換算で約 1,300 機の新規需要があると予測しており、大きな伸びが期待できる。航空機を、航空機機体、航空機エンジン、装備品と大別した場合、各分野とも欧米の大手メーカーの寡占状態である。機体では、ボーイングとエアバスで市場の 67%を占めている。エンジンでは、GE, Pratt&Whitney, Rolls-Royce の 3 社で市場の 7 割程度を占めている。シートや油圧システム、降着装置といった装備品では、欧米の 1 社ないし 2 社で市場の 90%以上を占めているものもあり、特に装備品における寡占化が顕著である。

しかし近年では、エアラインからの運航経費削減の強い要求による機体の軽量化、双発広胴

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

機が主流となっていることによるエンジンの推力増大と燃焼の効率化など、各航空機メーカー、エンジンメーカーが1社で開発費とリスクを負担することは非常に困難な状況となってきた。これを背景として今日では、航空宇宙分野における国際共同開発が一般的となっている。

2.2 日本の航空機産業

日本の航空機産業生産額を図2に示す。1980年頃から概ね順調な増加を示し、2008年度には過去最高の1兆3,000億円に上っている。この背景として、特に民間航空機の国際共同開発が挙げられる。国内のメーカーは高い設計・製造技術を武器に数多くの国際共同開発プロジェクトに参加している。

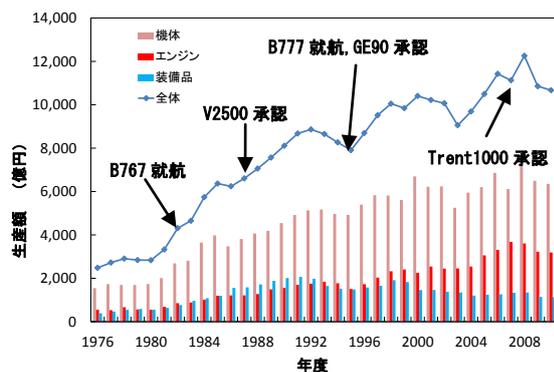


図2 日本の航空機産業売上高

SJAC「航空宇宙産業データベース」平成23年6月より作成

機体は最も生産額が大きく、約6,000億円強である。特にボーイング機において三菱重工業(株)、川崎重工業(株)、富士重工業(株)などがプログラムパートナーとして参加しており、B767では胴体構造が中心で15%の分担比率であった。最新のB787では構想設計段階から参加し、CFRP製主翼など難度の高い部分を担当し、分担比率は35%まで高まっている。その他エアバス機ではシュラウドボックス(主翼付根後縁部分)や貨物扉などのサプライヤーとして参加している。

一方、航空機エンジンも4,000億円弱の規模である。V2500エンジンで本格的な国際共同開

発に参加して以来、GE、Platt&Whitney、Rolls-Royce各社のエンジンに積極的に参加し、一定の存在感を示している。V2500ではファン部分が主な担当であったが、GE90、PW6000、Trentシリーズでは、圧縮機、燃焼器、タービン部へと担当部位が広がるなどして、現在ではエンジンのほぼ全域に日本のメーカーが参加している。

装備品は電源システム、降着装置、油圧・空圧システム、シートなど多岐にわたっているが、生産額は1,000億円弱にとどまっている。

日本の航空機産業において中部地域が占める割合は多い。中部地域には日本の主要機体メーカーである三菱重工業(株)、川崎重工業(株)、富士重工業(株)の工場が立地し、その協力企業も集積していることから、国内航空機産業生産額の約50%を占めている。特に機体部品に関しては70%以上と、他地域を大きく引き離している。機体部品は比較的大型な部品が多く、輸送コストが高むことなどが影響しているものと考えられる。

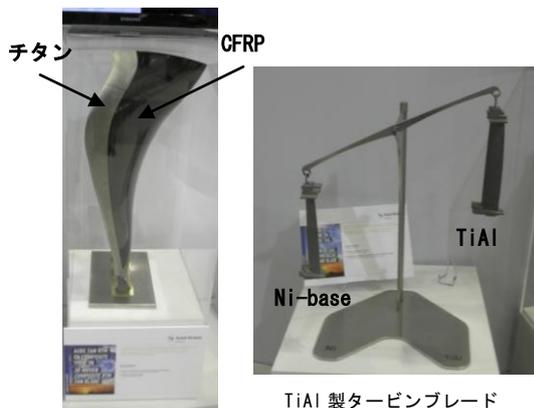
一方、航空機エンジンの分野では、機体分野のような特定の地域への集中は見受けられない。例えば、(株)IHIは、エンジン用シャフトを広島県呉市の工場生産し、コンプレッサブレードなどは福島県相馬市の工場や長野県辰野町にある関連会社で生産するなど、各地に分散している。エンジン部品は機体部品に比べて小型な部品が多いことから、輸送コストはそれほど負担にならず、必ずしも特定の地域に集中する必要はないと考えられる。こうした点から、航空機エンジン分野は、発注側企業が立地していない地域の企業でも受注できる可能性が十分にあると考えられる。

3. 航空機エンジン分野における技術動向と新規参入可能性

航空機エンジン分野では、エンジンの推力増大と燃焼の効率化といった要求に応えるために、様々な技術開発が行われている。図3に一例と

して示すが、ファンブレードへの CFRP の採用やタービンブレードへの TiAl（チタンアルミ金属間化合物）などの軽量耐熱材料の採用による軽量化の他、CMC（セラミック基複合材料）製ミキサノズルの試作開発など、燃焼温度の高温化のための新材料開発などが挙げられる。これら新しい耐熱材料は、そのほとんどが難加工材料であるため、材料開発と同時に、効率的な加工技術の開発が求められている。

もともと新潟県内の産業としては、機械・金属が盛んであり、機械加工や金型加工企業では、加工技術が高く評価されている企業も多い。この点から、その加工技術を活用して航空機分野への展開が考えられる。



CFRP 製ファンブレード

TiAl 製タービンブレード

図 3 エンジン部品の軽量化例

図 4 に新潟県内企業 9 社へのヒアリング調査結果を 7 項目の指標で評価した結果を示す。これによると、新潟県内の企業は、航空機エンジンに多用される難削材の加工技術は高いものの、航空機部品加工に必要な品質管理体制を整えることが課題であることが明らかとなった。

JIS Q 9100 取得等の品質管理体制の確立には費用がかかるため、行政などの支援によって企業の費用負担の緩和をすることが新規参入の契機になる。また、発注サイドである大手重工メーカーのニーズとして、機械加工のみならず熱処理や表面処理などの一貫生産体制の構築も求

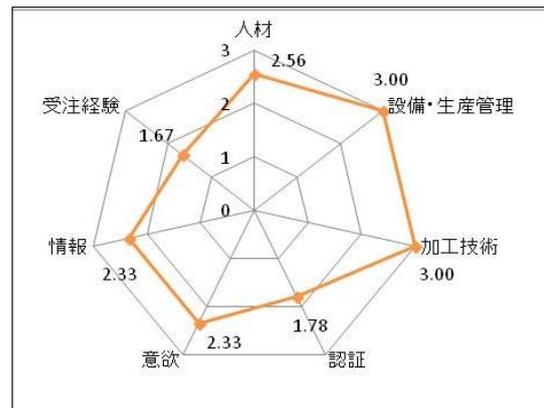


図 4 新潟県内企業へのヒアリング結果

一般財団法人機械振興協会経済研究所の調査結果

められている。

したがって、航空機産業への参入を目指すにあたっては、難削材の加工技術をさらに高める技術開発に加えて、品質管理と一貫生産体制を整備した航空機エンジンクラスターを構築することが重要と考えられる。

4. 結 言

- (1) 2029 年までの民間航空機の需要は 31,000 機、1,300 機/年の新規需要があり、大きな伸びが期待できる。
- (2) 航空機の機体やエンジン、装備品の各分野で欧米のメーカーの寡占状態であるが、近年では国際共同開発が一般的となり、高い設計・製造技術を持つ日本のメーカーが機体やエンジンの分野で数多くの国際共同開発プロジェクトに参加している。
- (3) 航空機エンジン分野は機体に比べて国内の特定地域への集中が見られない。また、エンジン部品は新しい耐熱材料などが開発・実用化されているなかで、これに対応した効率的な加工技術の開発が求められており、高い加工技術を有する新潟県内企業の特質を活かすことができる。
- (4) 技術開発に加え、品質管理と一貫生産体制を整備した航空機エンジンクラスターを構築することが市場への参入戦略として重要と考えられる。

太陽光発電研究会報告

石井 啓貴^{***} 大野 宏^{**} 坂井 朋之^{*} 須貝 裕之^{*} 星野 公明^{***} 江口 和也^{*}

A Report on Market and Technology Trend of Photovoltaic Power Generation

ISHII Hirotaka^{***}, OHNO Hiroshi^{**}, SAKAI Tomoyuki^{*}, SUGAI Hiroyuki^{*},
KIMIYAKI Hoshino^{***} and KAZUYA Eguchi^{*}

1. 緒 言

CO₂を排出削減するため、再生可能エネルギー導入が積極的に進められている。中でも太陽光発電は、国の補助金制度が復活し、平成22年度から発電余剰分の固定価格買取（フィード・イン・タリフ＝FIT）制度が始まり、急速に需要が増えている。また、平成23年3月に発生した東日本大震災や原子力発電所事故、これに伴う計画停電といった電力供給体制の不安は、太陽光発電といった再生可能エネルギーへの注目を集める結果となっている。

このような背景の中、新潟県は平成21年度から新エネルギー産業群形成事業として太陽光発電研究会を開催し、太陽光発電に関する講演などにより情報提供を行い、県内企業の太陽光発電市場への参入および企業間連携推進を支援した。また、県内外の先進企業の状況を調査し、県が取り組むべき課題について検討した。

これまでの研究会の調査結果から、①太陽光発電システムはメンテナンスフリーと言われているためユーザーの保守点検に関する意識は低く、最近、故障や不具合発見能力が低いことによる弊害が報告されていること、②低い確率ではあるが実際に故障は発生しており、保守点検のニーズが高まっていることが分かった。この調査結果を踏まえ、今年度は「太陽光発電の保守点検、メンテナンス、検査技術」にテーマを

絞って調査を行うこととし、講演会の参加者を募り、講演会を開催するとともに、関連技術・企業調査を実施することとした。

2. 活動概要

2.1 研究会の開催

県内企業（電子機械製造業、施工業、電気工事業）や自治体関係者を対象に会員を募集し、2回の研究講演会を実施した。また、当所主催のものづくりイノベーションフォーラムにおいて活動報告を行った。

・第1回（7月28日）

「太陽電池の電子特性の基礎」
有限会社吉富電気 代表取締役 吉富政宣 氏
太陽光発電システムの設計には、システム各構成要素技術の全般をまず概観し理解する「どんぶり勘定」的視点が重要である。施工現場における診断計測における「三種の神器」として、ラインチェッカ、赤外線カメラ、I-Vカーブ測定機がある。太陽光発電システムの不具合発見の課題について、現状は事後対策に留まっており未然防止策をまとめることが必須であることや、アレイを見るためには、三種の神器（ラインチェッカ、赤外線カメラ、I-Vカーブトレーサ）の準備、解析技術の習得、絶縁抵抗計といった基礎的計測器が必要であること、今後の課題としてアレイ以外の検査法の確立、解析の統合環境などの整備が重要である。

また、太陽光発電システムの新設普及、運転保守の健全化に向けて、未然防止に向けた基本的な取り組みを推進し、システム技術者を育成

* 研究開発センター

** 企画管理室

*** 下越技術支援センター

したり、維持管理の観点を持つために、メンテナンス方法の技術開発やシステムを長期にわたり保持できるための社会的制度の整備を進めることが重要であるとしている。

・第2回（平成24年2月3日）

「太陽光発電の設置からメンテナンスに有効な計測技術」

新栄電子計測器株式会社 営業技術部

光山 亮 氏

太陽光発電で使用される測定器は、日射計や温度計、日影測定器、I-V測定器、絶縁計、赤外線サーモグラフィ、テスターなどである。太陽光発電システムの故障と劣化の原因は、太陽電池モジュールの不良（経年劣化や内部電極不良、インターコネクト不良）、パワーコンディショナ不良（経年劣化による変換効率低下）、施工・設置不良（配線ミス、接続ミス）などである。太陽光発電システムのメンテナンス方法は、JEMA（一般財団法人日本電機工業界）の規格に規定されており、主な項目は、太陽電池アレイ（目視検査、絶縁抵抗）、接続箱（目視検査、太陽電池、端子間絶縁抵抗）P/C（出力端子間絶縁抵抗）、その他目視などである。

太陽光発電システムのメンテナンスにおいては、①I-V特性測定によりパネルが正しく施工されているかを確認すること、②施工データを蓄積することで施工技術を蓄積すること、③定期的な測定でパネル顧客へ継続した信頼を得ることが肝要である。

「横浜スマートコミュニティの概要と取組」

株式会社 PALTEK スマートグリッド事業部
統括部長／横浜スマートコミュニティ事務局長
前川 大介 氏

2010年6月に、自律的な電力供給システムの構築を目指し、福岡スマートハウスコンソーシアムが発足した。福岡市内に煉瓦ハウスを建築し、太陽電池、風車、蓄電用Li電池を設置、各種実証実験を行うものである。福岡スマートハウスコンソーシアムの活動を受け、2011年6月、福岡スマートハウスコンソーシアムの参加企業

と、横浜市の企業を中心とした企業と研究機関、横浜市の協力を得て、「横浜スマートコミュニティ」が設立された。会員企業が技術的な要素を持ち寄り、各自課題解決に取り組む自主自律的な運営を行っているのが特徴である。植物細胞が持つエネルギーの生成、蓄積、制御の仕組みを参考に、スマートハウスに必要なエネルギーシステムのコンセプト構築を考え、実際にエネルギーシステムを考案し、福岡スマートハウスコンソーシアムでミニハウスを構築して評価することが特徴である。スマートハウスのビジョン作りから、モデル作成、検証、実証まで一貫した流れを行うとしている。

・ものづくりイノベーションフォーラム

（平成24年3月6日）

「太陽光発電研究会調査報告」

太陽光発電に関連する県内企業について調査した。当研究所の太陽光発電研究会の3年間の活動を報告した。太陽光発電全般に関する課題や、雪国ならではの課題について報告した。パネル製造工程への県内企業の新規参入は難しいが、普及が進むにつれて保守管理の重要性が高まっており、簡単に現場で使える検査装置や検査方法に関するニーズが高まる。

「太陽光、風力、水力等自然エネルギー発電用コントローラ制御技術」

エフテック株式会社 代表取締役

渡辺 諭 氏

太陽光や風力など自然エネルギー発電用コントローラを製造販売しており、蓄電池を組み合わせた独立電源に対応している。気象データの観測や通信などの周辺技術も有している。これまで開発に取り組んだ事例、機器選定や設計上の注意点について紹介した。

2.2 県内企業の現状調査

新潟県内の太陽光発電システムの施工業者や電気工事業者を訪問し、現状や課題、今後の取組などを調査した。

クレームは第一に施工業者に来るため、引渡

の際には、ユーザーにしっかりとした情報提供を行うことが重要である。太陽光発電自体に興味を持たれるお客様も多く、問い合わせも増えているとのことである。

施工業者として太陽光発電システムの保守点検の重要性について十分認識しているが、施工実績をあげることが、まず先であると考えていると思われる。

2.3 新潟県の大規模太陽光発電所調査

県内の公設の大きな太陽光発電システムとして、新潟東部太陽光発電所の調査を行った。特徴として、複数のパネル架台を採用している。一つ目は、可動式架台で、夏季20度・冬期40度に手動で可動させる。可変機構はエアシリンダを採用し、エアシリンダ用コンプレッサを備えている。二つ目は追尾式架台設備で、1軸、2軸式の2式が配置されている。

また積雪地域に適した設計を採用したり、落雪を考慮して架台高さを1.8mに設計している。設計荷重は、3000MPaとし、積雪1.3mに耐えられるように設計されている。台風対策として、風量が高い際に、パネル接地面を水平に制御している。また雷対策として、大地にメッシュ状設置線を敷設している。

2.4 太陽光パネル診断装置企業・研究機関の調査

太陽光パネル診断装置を開発・販売しているメーカーを訪問し、診断装置の現状について調査を行った。太陽光発電システムの電氣的性能測定の手法として、一般的にI-Vカーブ計測により、各種特性値などの評価が行われるが、接続箱のアレイ接続端において計測されるため、不具合が生じたアレイ中のモジュールやセルを特定することは困難である。ゆえに不具合箇所を特定できる技術が確立されることは極めて有用であると思われる。

現在、各研究機関で研究・開発されている太陽光発電システム不具合箇所特定技術について

調査した。開発中の不具合箇所特定技術は大きく2種類あり、一つ目はTDR法のようにセルネットワーク端に信号を注入し反射波から不具合箇所を特定する技術、二つ目はモジュール毎に電圧、電流値のモニタリング端末を設置し、直流電力線通信によりデータをサーバに集約する技術であるが、課題として以下の点が上げられる。

- (1) 信号注入方式は、パネル特性の個体差や不均一などでは、特定が困難である。モニタリング端末は、既設システムへの実装に難点がある。
- (2) 主にメガソーラーへの運用が想定されており、民生用システムへの展開には、時間を要すると思われる。
- (3) パネル設置時のデータから時系列のデータ蓄積や高度なデータ解析を含めた統計処理技術との連携が重要である。

3. 太陽光発電研究会の取組

3.1 太陽光発電システムの検査・保守点検事業に関するアンケート調査

太陽光発電施工業者、電気工事業者の保守点検や故障診断への取組状況やビジネス展開の意向について調査するためアンケート調査を実施した。調査票を送付し、17社より回答を得た。

今回のアンケートの回答結果から、太陽光発電システムの施工や電気工事業者の約3割は、システムユーザー側から何らかのシステム故障・クレームが寄せられていることが分かった。また、実際に利用されている太陽光発電システムの故障診断方法・診断装置に対する回答は、「絶縁抵抗計」が50%と最も高く、以下「赤外線カメラ」(22%)、「太陽電池アレイテスタ」(14%)という回答であった。メーカー指定による定期点検項目で絶縁抵抗測定が上げられているためであるが、その他に太陽電池の性能特性を検査するうえで重要となるI-V特性を計測できる診断機器の普及がまだ進んでいないことが分かった。

3.2 パネルメーカーと県内金具企業との連携

太陽光パネル施工実績が多く、また大手太陽光パネルメーカーからも研究を依頼される県外の優良施工業者と、県内における太陽光パネル取り付け金具メーカーと意見交換を行った。

太陽光パネルを施工する側から見ると、金具メーカーは金具という部品だけを出荷したがるように見える。一方、施工側では多様な屋根の種類やそれに対応した金具形状、施工方法、そして耐食性のことなど様々な情報を知りたいのだが、これらを提供してくれる金具メーカーはほとんどない。施工業者に対して太陽光パネル取り付け金具に関する情報を提供するような仕組み、金具の製造技術や耐食性などの付加価値技術を、同業や異業種、施工業者など広範囲に広げること、各種情報提供を行うなど手厚いサービスが求められていることが分かった。

3.3 新潟県太陽光発電技術マップの整理

太陽光発電研究会では平成21年度から3カ年、太陽光関連企業の調査を行ってきた。最終年度の今年度はその総括として、新潟県内の太陽光関連企業や得意技術を整理し技術マップを作成した。新潟県内には太陽電池パネルの製造を行っている企業は無いが、半導体製造により培われたシリコンインゴット鑄造技術・加工技術、薄膜製造技術、ウェハ搬送技術、検査技術、電子部品製造により培われた導電性材技術、電極塗布技術、及び、その他の周辺技術により太陽電池パネルの製造に関連した企業が多く存在することが分かった。また、電力制御装置関連で、充放電コントローラを開発して大手太陽光パネルメーカーに多数納品している企業が存在する。さらに、金属加工を得意としている企業が県央地区に多く集積しており、屋根用の金具などを製造していた企業が、太陽光パネル用の取り付け金具・架台に進出している。強度や耐食性はもちろんのこと、屋根に穴を開けない、設置が簡単、各メーカーにも対応など、各社で工夫をこらした製品を製造している。

3.4 競争的研究課題への提案

新潟県は、平成23年度から東北電力と共同でにいがたスマートコミュニティ実証事業（モデル構築）を開始した。これは、電力網が比較的小さく閉じている粟島に再生可能エネルギーである太陽光発電を設置し、災害に強いスマートコミュニティを構築するものである。この事業と並行し、スマートグリッド関連の県内製造業を支援しようと、産学官が連携してコンソーシアムを形成し、財団法人にいがた産業創造機構の市場開拓技術構築事業に提案した。課題名は、「自律分散型スマートハウス用グリーンデバイスの開発」で、家庭でのエネルギーを有効活用するための各種デバイスを開発するものである。

4. 結 言

- (1) 講演会を通じて、参加企業において検査技術などの理解を深めることができた。参加企業が、故障の具体的な事例や不具合症状、診断方法の実際について大きな関心を持たれていることが分かった。
- (2) 太陽光発電の保守点検に関するアンケート調査の結果から、施工や電気工事業者の約3割でシステムユーザー側から故障・クレーム対応の経験があること、また、今後の事業取組について太陽光パネルユーザーへのアフターケアを重視していることが分かった。さらに、県内の施工関連企業の調査からは、パネルメーカーによる保守点検制度の充実など、保守点検環境の醸成を望む声があった。
- (3) 太陽光発電システムの検査技術に関する計測器メーカーや研究機関などの調査を行った。検査装置の利用には、技術的な知識の習熟が必要であり、とりわけ民生部門では普及に時間がかかること、個別故障箇所診断技術は、現在各機関で研究が進んでいるが、実用にはまだ課題が多いことが分かった。

EV 技術研究会報告

五十嵐 晃* 須貝 裕之* 中川 昌幸*
菅野 明宏* 江口 和也*

Report of Collegium for EV Related Technology

IKARASHI Akira*, SUGAI Hiroyuki*, NAKAGAWA Masayuki*,
KANNO Akihiro* and EGUCHI Kazuya*

1. 緒 言

EV 技術研究会を始めて 3 年になる。当該事業を開始した平成 21 年度から、この 3 年の間においても、様々な出来事があり、EV など新エネルギーを巡る環境も大きく変化した。本事業開始当初から、地球温暖化対策および石油資源の枯渇による原油価格の不安定性を背景として、自動車の脱石油化が叫ばれていたが、昨年 3 月に発生した東日本大震災を契機に、新エネルギーおよび再生可能エネルギーへの関心はさらに高まっている。そこで、動く電池としての EV にも注目が集まっている。そこで、本調査では、自動車としての EV はもちろんであるが、スマートグリッドやスマートハウスについても、調査を行い、競争的資金獲得への動きを進めながら、それらへの参入可能性についても検討を加えた。

2. EV 関連技術セミナー

県内製造業が今後 EV 関連産業へ参入するにあたり必要とされる、EV 関連技術の動向、関連産業構造の状況等の情報提供を目的として、EV 関連技術セミナーを開催した(図 1)。合計 2 回のセミナー参加人数は、のべ 65 名であった。群馬県におけるミニ EV 開発の動きや、静岡県における、従来自動車部品企業の危機感から来る積極的な取組みが紹介された。

一方、3 月には、「ものづくりイノベーション



図 1 開催セミナーの様子

ンフォーラム」というイベントに際し、EV・スマートグリッド分科会として参加した。ここでは、県内企業および県内へ進出している企業、団体から、各機関で行ってきた、EV 関連事業の説明を行っていただいた後、全体の質疑応答を含め、ミニディスカッションを行った。総じて今回のテーマへの関心は高く、活発な質疑応答が行われた。特に(株)東芝の発表に対しては、県内進出企業ということもあり、多くの質問があった。(株)東芝からは、新型 Li イオン電池の製造工程についての説明や、電池ケースの製造工程についての説明があった。

さらに EV は、一般に関心の高い技術分野でもあるため、県としての動きを普及啓発する意義もあることから外部からの講演依頼にも対応し、積極的な情報提供につとめた。

* 研究開発センター

3. 調査活動

3.1 県外における動向調査

EVに関連した技術動向および市場動向の把握を目的として、展示会等の調査を行った。展示会の調査では、EVとスマートグリッドの展示会を併催する状況が見受けられた。今後EVは、単なる従来の自動車の置き換えのみならず、家庭用の蓄電デバイスとしての機能も求められていくことがうかがえた。

また、当所で開催するセミナーやイベントの講師依頼のために、各講師を訪問し、状況確認を行った。

3.2 県内企業の動き

県内のEV関連技術動向の把握を目的として、最新状況の調査を行った。主に、EV自体の開発を進めているところは、技術開発というよりは、まだ町おこしというイメージが強い印象であった。一方、EV関連技術開発への取り組みでは、モータ制御技術を応用し、自社製品の高付加価値化を実現している企業もあった。

4. 課題とその対応

4.1 対象市場の特性上の課題

EVは電気で動く自動車であるため、まず従来の自動車メーカーが開発製造を進めている。従って、一義的には、従来の自動車製造ピラミッド構造の踏襲が考えられる。一方、EVの要素デバイスを考えると、電池やモータ、制御基板となり、これら単体では、重電メーカーの独壇場である。さらに、EV単独の開発だけでなく、カーシェアリングや、レンタカー、充電ステーション、スマートハウス、スマートグリッド等、EVを取り巻く周辺市場も広がっている。

このような課題に対しては、今まで自社が関わってきた業界を足がかりに情報を得ながら、参入を図っていく方法が考えられる。また、あらためて自社技術、自社製品を見直し、それらがEV関連市場もしくは、スマートグリッド関連市場等のどこに適用できるのかを見極めて、

参入を図る方法が考えられる。

4.2 技術的課題

EVは、要素技術としては、電気（駆動系）と機械（主に筐体系）の統合技術である。また、そのうちの電気も、電池とモータ、およびそれらを制御する制御技術で構成される。ここで扱う電力の大きさは、数十kWと大きなものであり、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor：絶縁型ゲートバイポーラトランジスタ）やIPM（Intelligent Power Module：インテリジェントパワーモジュール）などの専用の電力デバイスを扱う必要があり、各ディスクリート部品により、電子回路を設計、製作する必要がある。また、それらのデバイスを制御するには、マイクロコンピュータ（以下マイコン）などデジタル回路の設計、製作が必要で、かつ、マイコンの制御用に、プログラム（いわゆる組込みソフト）を組む必要がある。一方、機械では、主に筐体となるが、省エネのために、各部分における軽量化が必要となる。また、エンジンがなくなることで、大きな熱源が消失するため、従来、耐熱が必要とされた部分の性能が緩和されるため、金属が必要であった部分に樹脂を採用する可能性も出てきている。また、センサやアクチュエーターの接続に、機械的な接続ではなく、電気的な接続で対応するために、筐体のデザインや設計、また、各装置の配置のデザイン等の自由度が飛躍的に上がることが考えられる。

このような技術的な状況を考慮して、自社として手掛けるきっかけを見つけることが必要である。

4.3 地域特性に伴う課題

新潟県内には、従来から自動車の組立メーカーは存在していないという課題がある。これはもちろんEVについても同様である。そのため、自動車関連産業における、ティア1（一次下請け）は、新潟県内には、限られた存在しかなく、ティア2～3以降の企業が主であり、EV化への

動きへの対応速度やタイミングも、市場動向とリアルタイムに連動しているように見えない。むしろ、今後、少し遅れて、県内企業がEV化への対応を実際には迫られるように思っている。それから考えると、今のうちに、自社のEV化への方針を検討しておく必要はあると考えられる。このように課題と思われる面を逆にメリットと捉え、今から充分検討しておくことは重要である。

5. 工技総研の取り組み

EVおよびその関連技術について調査してきたが、モータおよび電池そのものの開発は、投資額も大きく、現在までの技術蓄積、経験が大きく影響することがわかった。そのため、中小企業が簡単に参入することはできない。一方、モータや電池のいずれにも必要で、かつ重要な位置を占める、電力変換技術およびそれらを制御するための制御技術について、技術蓄積を図ることは有効であり、当該技術の用途を限定することで、新規参入が比較的容易にできると考えられる。

そこで、次年度以降は、当所においても、これら電力変換技術、および制御技術を実例を通じて、蓄積していくことが有効であると考えている。当該技術のように基礎的な技術であるが、それだけに様々な用途に適用可能な技術は、習得までに時間がかかるため、成果が見えづらい。しかし、一度手に入れてしまえば、それから先は、様々な分野への応用が効くと考えられる。

この分野の技術を総合して蓄積することは、非常に手間や時間がかかることではあるが、その分、手にできた後の将来性は非常に期待でき

るものである。

技術蓄積手順としては、単に座学のような、教科書を始めから読み進めていくやり方ではなく、開発着手当初から、最終製品のイメージを持って臨むことが重要である。その最終製品を実現するには、それを構成要素に分解する。すると、これらに分解されるので、今度はさらにそれをもっと細かく分解する。といった具合である。そのようにして、行うべき項目を洗い出し、それらを着実にものにしていくことで、結果として、最終製品に最短でたどり着く方法であると考えられる。このやり方を採用すれば、最短時間で最終製品完成に近づくだけでなく、途中の技術習得内容も、最終製品に必要なものだけをトレースでき、効率も高くなると考えられる。

次年度以降、このような手順で、電力変換技術等基盤技術の蓄積を当所でも図ることが必要になると考えている。

6. 結 言

- (1)EV 関連市場は、非常に幅広い技術分野で成り立っているため、従来の自社技術を再度見極め、経験や今までに得ている知識等を踏まえて、参入しやすい分野から入っていく方法が有効である。
- (2)電力変換技術およびそれを制御する制御技術という基盤技術について、時間をかけ、対象とする製品を当初からイメージしながら、製品開発と技術蓄積を並行して進めることは、効率的であり、今後の技術応用展開を考えても、非常に有効な手法である。

小水力発電研究会報告

諸橋 春夫* 星野 公明* 渡邊 亮* 明歩谷 英樹**

Market and Technology Trends of Small Hydropower Generation

MOROHASHI Haruo*, HOSHINO Kimiaki*, WATANABE Ryo* and MYOBUDANI Hideki**

1. 緒 言

持続可能な循環型社会の構築や地球温暖化対策として二酸化炭素削減を行うことは、地球の未来のためには必須の課題となっており、この課題に向けた取り組みとして、小水力発電をはじめとした再生可能エネルギー導入による対策の重要性は、ますます高まっている。また、再生可能エネルギーは、高騰する化石燃料、二酸化炭素排出課題のある火力発電、安全性が疑問視される原子力発電の代替として、さらには地域分散型エネルギーとしても重要な位置づけにある。再生可能エネルギーの中でも小水力発電は、水資源が豊富な新潟県（包蔵水力は全国4位）において発電できる地点が多く、気象変化に対しても比較的安定して発電できることから、貴重な新潟県産エネルギーになると考えられる。

以上のことから、小水力発電の導入は非常に意義のあることであり、将来的には小水力発電機に関わる市場は、成長が見込めるのではないかと考えられる。しかし、現時点では、まだ発電コストが高く、その市場も未開拓な状況であるため、発電コスト低減に向けた技術開発が、重要な課題となっている。

このような背景の中、本研究会では小水力発電に関する講演会の開催により県内企業に情報提供を行い、県内外の各種調査を基に県内企業の小水力発電市場参入可能性の検討および各機関の連携推進支援を行うことを目的として活動を行った。

* 下越技術支援センター

** 企画管理室

2. 研究会活動

2.1 セミナーの開催

県内企業、自治体、土地改良区等の小水力発電担当者向けにセミナーを3回実施し（図1）、小水力発電の現状や課題について情報提供を行った。第3回のセミナーにおいては講演の他に可搬式水車発電機の実演も行った。

・第1回 7月8日

「新潟県小水力発電導入の可能性調査について」

東京発電株式会社 水力事業部 マイクロ水力営業グループ マネージャー 富澤晃氏

「小水力発電の今後の展開と産業振興」
茨城大学 農学部 教授 小林久氏



図1 第1回小水力発電セミナー

・第2回 8月26日

「エコ水車の開発と普及」

信州大学 教授 池田敏彦氏

「小水力発電における電力の利用について」

新潟工科大学 准教授 佐藤栄一氏

・第3回 10月7日

「エコ水車の研究開発」

信州大学 准教授 飯尾昭一郎氏

「エコ水車の開発経緯」

新潟ウオシントン株式会社

サービスセンター サービス技術チーム

技術担当課長 金子正美氏

「下掛け水車方式による小水力発電技術」

株式会社本間組 土木事業本部 技術部

技術開発研究室 担当課長 岩田秀樹氏

<可搬式水車発電機の実演>

信州大学で開発した可搬式水車発電機（図2）を水道水を用いて発電させ100個のLEDランプを点灯させた。



図2 可搬式水車発電機

2.2 小水力発電の現状調査

水力発電は、二酸化炭素を排出しないクリーンな再生可能エネルギーであり、電力の安定供給の確保、地球温暖化問題への対応などの観点から、重要な自然エネルギーである。本研究会では、小水力発電の現状および県内企業動向、先進事例について調査を行った。

2.2.1 小水力発電の出力規模

水力発電の発電出力規模による分類は明確に規定されていないが、NEDOのガイドブック¹⁾では表1に示すように分類されている。

電気事業法においては、水力発電設備は電気工作物とされ、電圧600V以下、20kW未満で、

表1 水力発電の出力分類

分類	出力
大水力	100,000kW以上
中水力	10,000kW～100,000kW
小水力	1,000kW～10,000kW
ミニ水力	100kW～1,000kW
マイクロ水力	100kW以下

流量1m³/s未満の水力発電設備（ダムを伴うものは除く）は、一般用電気工作物、それ以外は事業用電気工作物と区分されている。事業用電気工作物は、電気事業法により保安等の規制があり、工事計画の届出、主任技術者の選任と届出、保安規程の制定と届出が必要となる。

また、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令の一部を改正する政令」（平成20年4月1日施行）において新エネルギー利用等に、「未利用水力を利用する水力発電」が追加され、かんがい、利水、砂防その他の発電以外の用途に供される工作物に設置される出力1,000kW以下の発電は、新エネルギー利用等に該当することとなった。さらに、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（平成15年4月1日施行、通称RPS法）の対象にもなっている。

2.2.2 発電方式

100kW以下のマイクロ水力発電は、既存施設を利用し、簡易な発電設備を設置することにより水力エネルギーを回収するケースが多く、流れ込み式での発電方式が一般的である。水利用から分類される発電方式として、河川水利用、農業用水利用、湧水利用、上水道利用、下水道利用などがある。上水道を利用する発電は、原水取水箇所から浄水場、または浄水場から配水場までの間で得られる落差を利用する方式である。これらの送水過程では、通常、管路末端部において保有する水圧を減圧するための減圧用バルブ等が設置されており、この減圧される水圧を

水力発電に有効利用することができる。

2.2.3 小水力発電の特徴

小水力発電は、運転中に窒素酸化物や硫黄酸化物を排出せず、発電設備建設なども含めたトータルの二酸化炭素排出量も極めて少ないクリーンエネルギーである。また、小規模であるため、発電設備を設置する際の地形変化が小さく、使用水量も少ないことから、河川水質や周辺生態系に及ぼす影響が小さく、自然にやさしいと言える。さらに太陽光発電や風力発電等の他の自然エネルギーに比較して電力供給の安定性に優れている。その他に小水力発電は、既存の農業用水利施設や上水道施設等の利用が可能であり、また、比較的簡易な設備であることから短期間での建設が可能であるなどの特徴がある。

2.2.4 小水力発電の市場

国内の小水力発電の市場規模は、10億円程度と言われており、年間数カ所の小水力発電所が建設されているにすぎない²⁾。また、100kW以下のマイクロ水力発電については、正確な統計を取っているところは見当たらなかったが、現時点では未開拓であると言える。

2.2.5 県内企業の現状調査

県内企業調査では、小水力発電に関して製造販売まで取り組んでいる企業は数社であった。また、発電機を検討中・開発中の企業を含めてもそのほとんどが、対象としている発電クラスは1kW以下であった。

2.2.6 県内外の小水力発電先進事例

実証試験で発電した電気の利用として、照明やイルミネーションの他に衛星電話の充電、電気自動車充電設備への供給、鳥獣防除用電気柵などへの活用事例を調査した。また、1kW以下の小水力発電に関する研究事例は、まだまだ少ない状況であるが、信州大学と新潟工科大学で先進的な取り組みがなされており、両大学と企

業数社で構成されたグループが開発した増速機のいない低速回転対応発電機は、メンテナンス費用や製造コストの低減を可能にする方向性が示されていると思われる。

3. 課題と対応

本研究会のセミナーに参加または調査した県内企業は、そのほとんどが1kW以下の発電規模を対象として考えていることから、1kW以下クラス小水力発電機に関する課題を検討した。検討の結果、①最適水車が開発途上、②製造コストが高い、③市場が未開拓、④発電を妨げるゴミの除去、⑤法律の規制、などが課題として考えられる。

3.1 技術的課題への対応

水力発電の水車には、下掛け水車、クロスフロー水車、フランシス水車など多くあり、それらは使用流量と落差から選定される。しかし、1kW以下クラス（例えば、落差：1m、使用流量：0.1m³/s以下）に対応する水車は一般的にはない。このような現状の中、調査した数少ない開発事例では、コンパクトな水車であるとともに水車の羽根に水を効率よく当てるためのノズルや集水板を使用するという特徴が見られた。小水力発電の場合、多種多様なケースがあるので、このような水を当てる技術を含めた水車設計をする必要があると思われる。

また、小水力発電機は、大手メーカーから一部規格品が販売されている例があるが、ほとんどの場合オーダーメイドで製造されており、これが高コストの要因となっている。従って標準仕様化、簡素化は重要であり、発電コスト低減のためのメンテナンス省略に関わる開発も必要である。調査事例の中には、低回転で発電できる発電機があり、これは水力発電において通常必要な増速機が無いため増速機用のベルト交換が不要であり、さらに防水機能が付加できるものであった。

3.2 その他の課題への対応

1kW以下小水力発電の市場は、現時点では未開拓であると言える。この市場開拓の方向性としては、発電した電気の利用率を増やしていくことが重要であると考えられる。例えば、電気の通っていない無電地帯での利用（山小屋，バイオトイレ，河川等の監視カメラなど），農業での利用（鳥獣防除用電気柵，ハウス栽培用電源など）などに有効性があると思われる。

河川に流れるゴミなどは発電機を止めてしまうため，ゴミ除去は重大な問題である。これに対してスクリーン，電動除塵機などを設置してゴミ除去，処理を行っている例もあるが，各地点においてその状況は多種多様である。従って発電機設置場所周辺の地域住民の方々の協力が不可欠であると考えられる。

法律の規制に関しては，手続きの煩雑さなどに影響しているが，この煩雑さの難易度は，河川の種別等により全く異なるので，計画地点の河川の種別を知っておくことが重要である。

また，小水力発電に関する開発は，地域にある資源，社会システムを活かし，地域の実情にあった開発を地域が主体的に解決していくことが重要であるため，産学官以外に地域との連携が不可欠であり，当研究所が個別の問題に対し技術指導を行うことは有効な支援になると考えられる。

4. 結 言

- (1) 本研究会では小水力発電に関する講演により県内企業に情報提供を行い，県内外の各種調査を基に県内企業の小水力発電市場参入可能性の検討を目的として活動を行った。
- (2) 1kW以下クラス小水力発電機に関する課題を検討した結果，①最適水車が開発途上，②製造コストが高い，③市場が未開拓，④発電を妨げるゴミの除去，⑤法律の規制，などが課題として考えられた。
- (3) 小水力発電に関わる開発は，水車や発電機の他に水を水車の羽根に効率よく当てる工夫等も必要である。また，地域の実情にあった開発が必要であるため，産学官以外に地域との連携が不可欠である。

参考文献

- 1) NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構），マイクロ水力発電導入ガイドブック，2003，p13.
- 2) 後藤眞宏，上坂博亨，小林久，“南ドイツにおける小水力発電の調査報告とわが国の農村地域の小水力発電の今後の展望”，農工研技法，210，2009，p173.

質感エンジニアリング研究会報告

阿部 淑人* 中部 昇** 橋詰 史則*

A Report of Market and Technology Trends of Texture Engineering Products

ABE Yoshito*, NAKABE Noboru** and HASHIZUME Fuminori*

1. 緒 言

本研究調査では製品や部材の付加価値向上に資するため、(i)機能性や信頼性あるいは価格、短納期などの産業価値以外の感性価値のうち特に質感をどのようにして向上すればよいか、(ii)目標とする質感表現を実現するためにどう設計し、(iii)どう製造すればよいか、(iv)どう検査すればよいかという問題を設定し、昨年までの感性工学研究会の調査に引き続き、技術調査と事例研究そして技術啓蒙を行った。

性能・信頼性・価格による差別化が困難となってきた現在では意匠性、質感などの感性価値の向上が製品や部材などの付加価値の向上につながるひとつの切り口であると考えられる。しかし、デザイナーやユーザーが好ましいとする意匠や質感を的確に示し、製造者とその双方が正しく理解し合うことは困難である。そして製造業者がそれを製品や部材として実体化することができなければ付加価値向上には繋がらない。正確に質感を伝え合える情報が必要であり、その情報に基づいて製造条件を導き出し製造する仕組みや、出来上がった製品の質感を測定する仕組みが必要である。

この研究会では、どういうデザインの商品が売れるかとか今年の流行色は何かというデザイナーやユーザーが関与する嗜好の話題には積極的に取り組まず、指定された高意匠性あるいは高質感の製品や部材を設計、製造する際のメ

ーカーの課題解決に関する話題について取り組んでいる。機構部品の強度に関して目標値と許容誤差範囲があるように、意匠性や質感にも目標値と許容誤差範囲が存在し、所定の意匠性や質感を得るための製造パラメータの管理・制御が不可欠である。まずは、製造した結果としての質感についての計測やデジタル表現の実現を目指し、続いて原因となる製造条件へのフィードバックの実現を目指す。

質感を有する製品の製造における現在の状況は、新潟県内企業に限ったことではなく多くの国内企業では以下のような状況であると言われている。例えば機構部品の設計製造において、現在ではCADやCAMなどのシステムが普及し正確なデータで構造が表現できるために寸法や形状の情報交換で間違いの入る余地は少ない。ところが従来はモックアップ（試作見本品）や三面図だけを渡されて同じように作ってくれという話が横行していた。官能評価に重きが置かれてきた質感製品について日本においては現在もそれと同じ状況が続いてこのままでは世界に遅れをとってしまうという危惧がある。例えばDIN6175-2, ASTM E2194などの客観的なデータで質感を表現すれば機構部品と同様に数値で設計値の情報交換ができるが、多くの場合にはそれには至っていない。外観の設計製造にも機構の設計製造と同じように数値管理が出来る状況をつくりたいというのが本研究会の趣旨である。

以降の章では、動向調査の結果と関連技術の概要について述べた後、全体をまとめる。

* 下越技術支援センター

** 研究開発センター

2. 調査と検討の結果

2.1 県内企業の動向・意向

主にセミナーに参加した企業や関心のありそうな企業に質問して、色彩・光沢・質感等に関するアピランス性能に関わる設計課題・製造課題等についての調査を行った。その結果の概要を記す。

- (1) 加飾技術については、セミナーに参加した22社36名のうちからは自社製品に取り入れたいという希望を持つ意見も数名あったが、大方は手法の一覧を再確認したに留まっている模様であった。セットメーカーであれば外部委託で試作・製作することができ、表面修飾のバリエーションを増やすことにつながるが、処理業者は自社保有技術にするかどうかの判断には、設備導入などの障壁が高くすぐにどうこうという話にはなりにくいと考えられる。
- (2) 分光分析技術・質感計測技術については、セミナーに参加した8社12名のうち大半は消化不良のようであり、内容を理解して製品開発や製造管理に利用するという意識を持っていた人は3名に留まった。まだまだ色彩や質感といった要素は定量的に捉えることが十分に浸透せず官能に頼っていることが原因であると考えられる。必ずしも新潟県内企業のレベルが全国レベルと比較して低いということではなく日本全体の傾向と考えられる。つまりは先導できる可能性が有るということである。
- (3) 質感表現シミュレーション技術について、セミナーに参加した11社16名のうち既に同様の技術を導入したりこれから導入しようとしている企業はコンピュータシミュレーションを試作替わりやコミュニケーションツールなどさまざまな用途に利用可能という理解を得ているが、まだその他企業では十分に価値を理解していないと考えられる。今後事例研究の成果を紹介して普及啓発を図ることとしたい。

2.2 計測に基づく質感マネジメントと質感シミュレーション技術による課題解決

機構の設計製造において三次元形状の寸法や荷重、速度という共通尺度が必要なように、質感の設計製造においては質感を表現する共通尺度が必要である。客観的な共通尺度が無いままに主観尺度のみに頼ってきたことによりコミュニケーションの齟齬が発生したり、計測制御が属人的になるという問題を引き起こしていたと考えられる。従って当研究会としては客観的な共通尺度による質感マネジメントを想定し、その尺度の計測技術、表現シミュレーション技術に基づくワークフロー改革を目指している。メリットは以下のとおりである。

- ・ 具体的な客観尺度によりコミュニケーションギャップが解消する。
 - ・ デジタル化した尺度により質感表現のコンピュータシミュレーションが可能になる。
 - ・ 実体の数値管理が可能になる。
 - ・ 制御条件と測定データの関連付けにより品質管理を機械化できる。
 - ・ 生成したデジタルデータを企画・開発・製造・品質管理・販売の多部門で利用できる。
- 一方、デメリットは以下のとおりである。
- ・ 客観評価のための測定器の導入が必要である。
 - ・ 既存のワークフローと異なるために心理的障壁が伴う。

質感計測については、本年度導入した多角度分光測色計 BYK MAC により測色した6角度測色値を質感尺度として用いそれらから得られる総合色差を質感誤差として用いることとする。ドイツでは、メタリックカラー等の測色基準として工業規格 DIN6175-2 により3角度ないし5角度での総合色差 $\Delta EDIN$ が定義されている。また材料系の国際工業規格 ASTM E2194 では3角度ないし6角度での色差を定義している。

質感シミュレーション技術については、従来質感のコミュニケーションに用いられた現物見本と官能表現に替えて、デジタルモックアップ

(パソコン上の画像表現)を用いられるようにするための技術である。具体的には写実的な3DCGをモックアップやプロトタイプの代わりとする。表現のための質感マテリアルデータは測定ベースとすることで定量性を維持する。当研究会ではこのため、Autodesk社のリアルタイムレンダリングソフト Showcase と、グラフィック社のリアルタイムレンダリングソフト nStyler, Next Limit社の写実的レンダリングソフト Maxwell Renderを導入してその得失を評価している。質感マテリアルデータの取得については前述のとおり BYK MAC と Office Color Science社のデータ解析ソフト CI/Navigatorを用いる。

3. 結 言

県内企業が抱える問題とその解決のために本研究会で検討した活動方針に関して以下に記す。

- (1) 最終製品メーカーなどでの設計段階では、ユーザーやデザイナーが要求する外観・質感・高級感をどのような材料や加工方法で実現するかという問題に対してコスト、納期など多くの制約がある。設計試作品をできる限り排除して外観をデジタルプロトタイピングできれば多くのメリットがあるが、導入している企業は数少ない。
- (2) 部材メーカーや表面処理メーカーでは、最終製品メーカーからの要求を社有の技術・設備でどの様に対応できるかという問題に対してコスト、納期など多くの制約がある。質感の定量化ができていない現状では最終製品メーカーとのコミュニケーションギャップの発生や品質管理の不安定などいくつかの課題がある。
- (3) 現在までに工技総研では、多角度分光測色計やリアルタイムレンダリングソフトウェアなど質感エンジニアリングの課題事例を一部解決する準備が出来た。質感データの取得を行う多角度分光測色計と質感表現シミュレーションを行う質感測定ベースのリアルタイムレンダリングソフトウェアおよび質感マテリアルサンプルセット(データセット)の3つで、外観のデジタルプロトタイピング化、品質管理のデジタル化などを含めた質感マネジメントワークフローの改革を推進したい。
- (4) 研究会としての活動は今年度で終了し次年度以降は、最終製品メーカーにおけるアピランス実現に関するリアルタイムレンダリング技術の効果について事例研究を行ったり、部材メーカー・表面処理メーカーへの対応として、当該技術を活用できるようなマテリアルデータ生成技術(=質感データ取得評価技術)の開発や品質管理への適用などについても取り組む予定である。
- (5) リアルなCG生成に必要なデータは、(a)物体(製品)を配置する背景のパノラマハイダイナミックレンジ画像及びパノラマ距離画像、(b)物体(製品)の形状モデルデータ、(c)物体(製品)の質感マテリアルデータである。(a)については、本格的な撮像装置が数千万円の価格帯であり現状では入手が困難であることから、簡易的に取得する装置を考案しこれから性能を検証する予定にしている。(b)に関しては、3D CADデータが有るような製品であればデータ変換のみで概ね対応可能な見込みであり、CADデータがない製品については簡易レーザースキャナでの形状モデリングの性能評価を開始した。(c)に関しては、色彩および多角度反射率については測定器を導入済みであるが、表面の凹凸データや光輝分布の取得については、今後着手し測定装置の開発により解決を図らなければならない。

表面技術研究会報告

林 成実* 三浦 一真* 中川 昌幸* 永井 直人** 笠原 勝次** 岡田 英樹** 櫻井 貴文**

Report of the Surface Finishing Study Group

HAYASHI Narumi*, MIURA Kazuma*, NAKAGAWA Masayuki*, NAGAI Naoto**,
KASAHARA Katsuji**, OKADA Hideki** and SAKURAI Takafumi**

1. 緒 言

めっき、化成処理、研磨、洗浄、熱処理、塗装など様々な表面処理企業はもとより、金属、プラスチック、セラミック、天然素材製品から自動車や工作機械、電子デバイスなど、ありとあらゆる工業製品が表面処理工程を経て最終製品化されており、表面技術は「ものづくり」に関連する基盤技術となっている。¹⁾

基盤技術である表面技術は、ニーズの多様化、環境問題、安全性など「ものづくり」を行う上で必要不可欠である。産業グローバル化に伴う海外製品との性能・価格競争も激化しており、いかに品質の高い製品を安定して製造していくかが鍵となっている。

当研究所では、研究事業の一つとして「ものづくり技術連携活性化事業」を実施している。この事業は市場や企業のニーズにマッチした「売れるものづくり」を目標とし、共同研究や競争的資金への研究テーマを提案するために、分野別研究会の開催や市場ニーズ・技術動向調査研究を実施している。本研究会は、その調査研究事業のひとつであり、課題提案型研究会として、各種材料や製品への表面改質による機能性付与ニーズおよび要素技術に関する調査研究を実施し、開発テーマを提案することを目的としている。活動内容は、市場・技術動向調査、県内外企業調査、要素技術研究、セミナー開催である。

* 研究開発センター

** 下越技術支援センター

2. 活動概要

2.1 市場・技術動向調査

表面技術関連の展示会視察や最新の技術・研究セミナー、会議等に参加し情報収集を行った。また今年度の研究案件および来年度の競争的資金獲得に向けた、各種学会や大学への調査、国等補助事業実施機関での事業調査も実施した。

表面技術分野においては、金属や樹脂の表面改質技術による新機能性付与や、極表面・界面評価技術に関連した研究情報や製品が注目されていた。特に新エネルギー分野に欠かすことのできないリチウムイオン電池や燃料電池、二次電池等にかかわるナノ・材料の開発事例が多かった。表面の機能性付与については、高摺動性、高耐食性、平滑性等のニーズが高い傾向を示した。評価技術については極表面・薄膜の性能評価手法および装置の需要が多かった。

2.2 県内外企業調査

企業の現状及び課題におけるニーズならびに当研究所のシーズや技術への関心等を調査した。市場の動きと同様に、高摺動性、高耐食性、高強度、低コスト化等様々な機能を複合化した表面処理手法のニーズが高かった。また当研究所の支援体制へは、客観的に極表面性能を評価解析するためのニーズが高く、FE-SEM や FE-EPMA, FIB といった高度表面観察分析装置やナノインデントなどの表面強度測定装置の導入を希望する企業が多かった。セミナーにおける調査では、研究テーマ提案に繋がる情報を得た。



図1 セミナーの様子

2.3 セミナー活動

研究会参画企業および新潟県内の表面技術関連企業、分析評価関連企業等に関わる技術者を対象として、「表面技術による機能性付与」をテーマに、当研究所における表面技術に関するシーズ提供および最新表面技術動向提供を目的とし、表面技術セミナーを以下のとおり2回開催した(図1)。

第1回 12月12日(月)

[講演]

「高度ものづくりのためのトライボロジーの基礎と応用ー表面テクスチャリングによる摩擦・摩耗の制御とその産業応用」

講師：足立幸志 氏

(東北大学大学院 教授)

- ・機械システムの信頼性と機能限界は、多くの場合、稼働部の特性に支配されている。それゆえ、稼働部の特性である摩擦と摩耗の制御は、信頼性・耐久性に優れた機械システムやより高機能な機械システムを可能にする。本講演では、摩擦摩耗の本質、表面テクスチャを中心とした摩擦摩耗の最新制御技術および摩擦摩耗の制御により実現され得る高機能機械システムの世界を具体的な事例を交えて紹介した。

第2回 3月9日(金)

[講演]

「新技術 MSE 試験法で薄膜の強さをナノレベルで評価」

講師：松原 亨 氏

(株式会社パルメソ 代表取締役)

- ・最近のもの作りでは硬質や軟質のコーティング技術が開発され実用化されているが、その進化に従い“硬すぎて測れない”、“柔らかすぎて測れない”、“薄すぎて測れない”、“多層膜の個別強さが測れない”等の問題点がクローズアップしている。MSE 試験法は超微粒子のウェットブラストと超精密形状計測を組み合わせることでこれらの課題を解決した世界初の薄膜強度評価法である。サブミクロンの薄膜でもナノメートルレベルで表面から基材まで連続して強さを計測可能であり、硬さの評価とは違った尺度の指標が得られ従来にない表面の姿を浮き彫りに出来る。本講演では、新潟発のMSE 技術を計測の成り立ちから実際の計測例までを詳しく紹介した。

2.4 総研での取組み

研究課題の創出については、当研究所シーズを基に研究会において企業ニーズに基づいた要素技術研究を実施し、参画企業および出口企業との提案会議および情報収集を行い、研究課題創出を図った。その結果、国の補助事業である競争的資金研究を3件獲得することができた。これらの競争的資金を獲得するためには、当研究所におけるシーズは勿論、論文・学会発表や特許出願の実績は非常に重要視されるため、今後も要素技術研究を継続し、実績を上げていく必要がある。また研究課題の提案については、調査活動および各種情報、要素技術研究、企業ニーズを元に2件、国の補助事業である競争的資金研究へ提案する。また各企業の開発課題については、さらに検討を重ね、今後、共同研究等で対応していく方針である。

3. 結 言

(1) 表面技術研究会では、課題提案型研究会と

して、各種材料や製品への表面改質による機能性付与ニーズおよび要素技術に関する調査研究を実施し、開発テーマを提案することを目的に実施した。活動内容は市場・技術動向調査、県内外企業ニーズ調査、要素技術研究、セミナー開催である。

- (2) 市場・技術動向調査では、表面技術分野において、金属や樹脂の表面改質技術による新機能性付与や、極表面・界面評価技術に関連した研究情報や製品が注目されていた。特に新エネルギー分野に欠かすことのできないリチウムイオン電池や燃料電池、二次電池等にかかわるナノ・材料の開発事例が多かった。表面の機能性付与については、高摺動性、高耐食性、平滑性等のニーズが高い傾向を示した。評価技術については極表面・薄膜の性能評価手法および装置の需要が多かった。
- (3) 県内外企業調査では、市場の動きと同様に、高摺動性、高耐食性、高強度、低コスト化等様々な機能を複合化した表面処理手法のニーズが高かった。また当研究所の支援体制へは、客観的に極表面性能を評価解析するためのニーズが高く、FE-SEM や FE-EPMA, FIB といった高度表面観察分析装置やナノインデントなどの表面強度測定装置の導入を希望する企業が多かった。
- (4) セミナーについては、今年度は「表面技術による機能性付与」をテーマとして、当研

究所における表面技術に関するシーズ提供および最新表面技術情報提供を行い、当研究所シーズと企業ニーズとのマッチングおよび新たな研究テーマ案件調査を実施した。

- (5) 当研究所シーズを元に研究会において企業ニーズに基づいた要素技術研究を実施し、参画企業および出口企業との提案会議および情報収集を行い、研究課題創出を図った。その結果、国の補助事業である競争的資金研究を3件獲得することができた。これらの競争的資金を獲得するためには、当研究所におけるシーズは勿論、論文・学会発表や特許出願の実績は非常に重要視されるため、今後も要素技術研究を継続し、実績を上げていく必要がある。来年度は開発課題を2件提案する。
- (6) 表面技術研究会は企業ニーズとマッチングした開発テーマを提案可能であることから、来年度においても引き続き研究会を継続する予定である。課題提案型研究会として、各種材料や製品への表面改質による機能性付与ニーズおよび要素技術に関する調査研究を実施し、開発テーマを提案することを目的に運営していく方針である。

参考文献

- 1) 栗原泰弘，“表面処理技術の発展を期待して”，表面技術，61巻，2号，2010，p112-115.

CFRP 研究会報告

古畑 雅弘* 小海 茂美* 吉田 正樹** 橋詰 史則**

Report of Market and Technology Trends of Carbon Fiber Reinforced Plastics

FURUHATA Masahiro*, KOKAI Shigemi*, YOSHIDA Masaki** and HASHIZUME Fuminori**

1. 緒 言

炭素繊維複合材料（以下 CFRP と略す）は、「軽くて強い」特徴から、次世代の先端材料として注目されている。航空・宇宙分野やスポーツ分野が市場を形成してきたが、近年では、環境や安全性に対する関心の高まりから風力発電用ブレード、圧力容器、土木建築等一般産業用途において需要が増加してきている¹⁾。将来的には量産型の自動車への適用も期待されている²⁾。

こうした中で CFRP の先行企業では、既に高度な技術を有して比較的大きな市場に参入している事例³⁾もあるが、多くの企業では、この材料が新しいが故に、素材の特徴や製造方法について十分に把握しておらず、技術的にも多くの課題を抱えているのが現状である。

本研究会では、CFRP の普及啓蒙を図るとともに研究開発や事業化の推進を目的として、セミナーの開催、技術動向調査、県内外企業調査、企業ニーズに基づく連携体の構築等について調査を行った。また商品開発に関心を持っている企業を対象に各種成形試験を行い、取り組みの「きっかけづくり」を行った。

2. 活動概要

2.1 技術セミナーの開催

CFRP の技術動向や用途探索に関する情報提供を目的として、協同組合三条工業会と共催でセミナーを4回開催した。参加者は延べ155名にのぼ



図1 技術セミナーの様子

り、毎回概ね好評であった（図1）。

第1回 平成23年7月20日

「連続繊維熱可塑性材料の60秒成形とハイブリッド（射出）成形」

サンワトレーディング（株） 馬場俊一氏

第2回 平成23年9月28日

「CFRPの切削加工と難削材加工技術について」

オーエスジー（株） 小柳津貴司氏

第3回 平成23年12月15日

「CFRPの市場・技術動向と今後の展望」

東京大学工学研究科 鶴沢潔氏

「CFRPの一般産業用途への展開事例」

SGLカーボンジャパン（株） 川添心氏

第4回 平成24年1月27日～28日

東レ（株）オートモーティブセンター視察

オートモーティブセンター 山口晃司氏

2.2 専門家による現地技術相談

熱可塑性 CFRP の成形試作加工を行っているサンワトレーディング（株）馬場俊一氏と企業へ出

* 素材応用技術支援センター

** 下越技術支援センター

向き、技術的課題について議論した。今年度は4社訪問し、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の特徴、用途開発、成形技術等に関してアドバイスを受け、大変参考になったようである。

2.3 市場動向調査

CFRP 関連の展示会視察や技術セミナー等に参加し情報収集を行った。

CFRP の市場は航空・宇宙分野や風力発電用ブレードを中心に需要が増加しているが、展示会等では自転車や生活雑貨、パイプなどの商品も多く展示されており、比較的容易な分野から参入しようとする状況がみられた。

また成形技術については、自動車分野をはじめCFRP の市場を拡大していくためには、成形サイクルの短縮化・生産性の向上が不可欠となっており、従来のオートクレーブ法一辺倒から用途に適した成形方法の研究開発が盛んに行われている。近年では、生産性の高い RTM (Resin Transfer Molding) 成形が普及してきており、速硬性エポキシ樹脂の開発や熱可塑性樹脂による成形技術の開発も行われている。

2.4 県内企業調査

県内の CFRP 関連技術動向の把握を目的として、製造業を中心に11社へ訪問し聞き取り調査を行った。既に成形技術の開発に取り組んでいる企業や、実際に試作開発を行っている企業、これから取り組み始める企業など様々で、抱えている課題も多様であった。

2.5 課題とその対応

県内においては、CFRP の認知度は未だ低い状況であるが、県央地域を中心に成形技術や商品開発への関心が高まっている。特に機械金属業では、既存設備やプレス加工技術を応用した熱可塑性CFRP の開発に関心を持つ企業が現れてきている。しかし実際に取り組む始めると、材料の入手方法や成形技術についての基礎知識が十分でないことから、試行錯誤の連続で開発が進まず、その一方で材料費などコスト面での負担が大きくなって

いた。今後も研究会を通して当研究所が主体となって支援していく必要があると考えている。また用途開発では、当初は大きな市場をターゲットにするのではなく、ニッチ分野を開拓し、技術蓄積を図ることが必要である。研究会には繊維や機械金属業など多種多様な業種や、比較的市場に近い生活関連用品メーカーや作業工具メーカー等も参加しており、こうした企業と交流を密にして用途開発を進めて行くことも重要であると考えられる。

2.6 当研究所での取り組み

企業から要望のあった案件について、次年度の競争的資金の申請に向けて定期的に検討会を行った。また商品開発に当たり、いろいろな成形方法について紹介依頼があったことから、企業を対象にハンドレイアップやシートワインディング等のデモを行いながら、材料の紹介や成形方法について指導を行った。こうした工程を経験することで具体的な課題も見えてきている。

2.7 パイプの成形試験

パイプの成形方法として、フィラメントワインディングとプリプレグを用いたシートワインディングについて試験を行った。成形を行うに当たり、図2に示す巻き取り機を試作し、これに型(マンドレル)を取り付けて行った。以降にシートワインディングについて紹介する。

今回は、外径30mmのSUS材と26mmのMg材の2種類の型、プリプレグは三菱レイヨン(株)製カーボンプリプレグTR3110-381GMX(平織)を使用した。成形は型の軸方向に平行にプリプレグを4ply積層したもの、バイアスで4ply積層したもの、平行とバイアスを交互に各2ply積層した

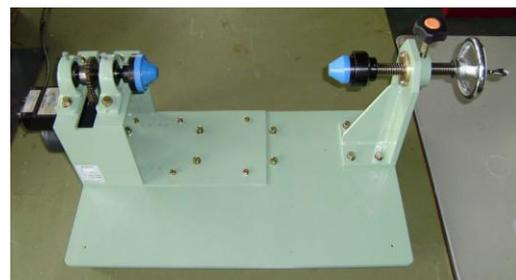


図2 巻き取り機



図3 試作したパイプ

ものと合わせて3種類作成した。最初に、型に離型剤を塗布し軽く拭き取った後、プリプレグの端をタッキングレジンをパイプに熱融着させ、パイプを低速で回転させてプリプレグを積層した。その上からラッピングテープを巻いて 130℃～150℃の環境下で 1 時間放置し硬化させた。徐冷後、型を取り外して成形品を得た。図 3 に成形品外観を示す。また 3 点曲げ測定による評価を行った。

型は SUS 材と Mg 材を使用した。熱膨張率の大きい Mg 材の方が硬化時にパイプが膨張し内圧が高くなると共に、試料を取り出す時も型が収縮し取り出しやすいことがわかった。またタッキングレジンを大量に使用すると、表面に溶出し凹凸の大きい面となった。3 点曲げ測定結果を図 4 に示すが、型の軸方向に平行にプリプレグを積層した成形品の強度が最も高く、バイアスが最も低

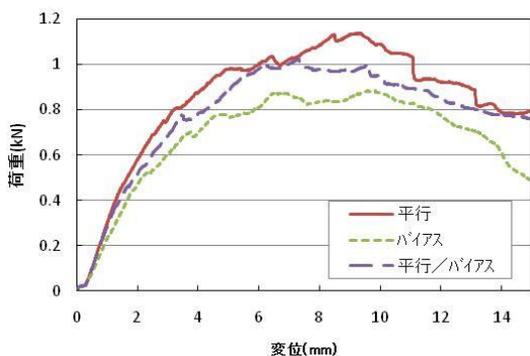


図4 荷重-変位曲線

い結果となった。今後は UD プリプレグ（炭素繊維を一方方向に引き揃えたプリプレグ）による試験も行っていく予定である。

3. 結 言

- (1) 協同組合三条工業会と共催でセミナーを 4 回開催し、延べ 155 名の参加をいただいた。毎回関心が高く、好評であった。また研究会参加企業は 49 社 67 名となり、件数は少ないが会員企業が連携して試作開発を始める動きも出てきている。
- (2) CFRP の市場は航空機や風力発電用ブレードを中心に需要が増加してきているが、市場を拡大していくためには成形サイクルの短縮化が大きな課題となっている。この解決策として RTM 法や熱可塑性樹脂を活用した成形技術の開発が盛んに行われている。
- (3) 県内では機械金属業を中心に、既存設備やプレス加工技術を応用した熱可塑性 CFRP の開発や商品開発への関心が高まっている。実際に取り組みを始めた企業も現れているが、CFRP の基礎知識が十分でなく、試行錯誤で行っている状況であった。
- (4) 次年度も引き続き情報提供や技術支援を通して企業ニーズを把握し、技術開発や商品化に向けた支援を行ってきたい。

参考文献

- 1) 前田 豊, “炭素繊維の最先端技術”, シーエムシー出版, 2007, p159-253.
- 2) 井塚 淑夫, “炭素繊維 複合化時代への挑戦”, 繊維社, 2012, p117-128.
- 3) 日刊工業新聞, “チャレンジが試作車”, 日刊工業新聞社, 2011 年 12 月 26 日付け .

天然素材活用研究会報告

浦井 和彦* 林 成実** 内山 雅彦***

A Study on Practicable Use of Natural Materials

URAI Kazuhiko*, HAYASHI Narumi**and UCHIYAMA Masahiko***

1. 緒 言

本研究会は、天然素材である木材または木質材料を利活用した本県木製品製造業を対象に、技術の高度化、企業ニーズの把握、企業ニーズに基づく研究会の構築、木材の利活用に関する最新技術動向の調査を目的に活動し、3年目を迎えた。

本年度の活動は、工業材料としての木材利用を図る上で必要な木質材料の利活用に関する最新技術動向について、引き続き調査し、利用技術の中から、「サーモウッド（ThermoWood：加熱処理木材）」および、「WPC（木材プラスチック複合材：wood-polymer composite）」の2テーマについて、研究テーマ提案に向けて、要素技術研究を実施した。また、昨年度に引き続き、関連業界の技術の高度化と技術者育成を目的とした2回の技術講習会を開催したので、ここに報告する。

2. 活動概要

本研究会の主な活動は、以下に示す。

- (1)技術講習会の開催
- (2)木質材料の利活用に関する技術動向調査
- (3)サーモウッドの製造、性能に関する研究
- (4)WPC 薄板の低コストな製造方法に関する研究
- (5)共同研究等研究テーマ提案に向けた活動

* 上越技術支援センター

** 研究開発センター

*** 下越技術支援センター

2.1 技術講習会の開催

関連業界の技術の高度化と技術者育成を目的とした2回の技術講習会を開催した。また、参加者を対象としたアンケート調査を実施し企業ニーズの把握に努めた。参加者は延べ95名のぼり、好評であった。

2.1.1 木材乾燥技術講習会

第1回目となる講習会では、木材の品質管理に必要な木材の乾燥技術、特に針葉樹である杉や赤松、カラマツ類の乾燥に有効な「高温セット」に関する技術等および最新木材乾燥装置に関する講演を開催した（図1）。

- ・開催日：平成23年11月18日
- ・参加人数 42名
- ・講演
 - 1「木材乾燥の基礎と針葉樹の人工乾燥」
講師：吉田 孝久 氏
(長野県林業総合センター 木材部長)
 - 2「最新の木材乾燥装置」
講師：鈴木 衛 氏
(株式会社エノ産業 木材乾燥開発室長)



図1 講習会の様子

2.1.2 木材利用促進講習会

第2回目の講習会では、木材の利活用に関する最新の話題および木材利用を促す補助制度に関する講演を開催した。

- ・開催日：平成23年12月13日
- ・参加人数 53名
- ・講演

1「地球環境を支える木材利用」

講師：井上 雅文 氏

(東京大学 准教授)

2「新潟県における県産材利用の推進」

講師：栃原 邦匡 氏

(新潟県農林水産部林政課 主任)

2.1.3 アンケート調査結果

講習会参加者を対象としたアンケート調査では、参加者の78%から回答を得た。その内の約8割の参加者から参考になったとの回答を得た。

(1) 木材乾燥技術講習会

- ・回収率76%
- ・主な意見：講演内容が、すぐに役立つ知識であり、木材の狂いや発生メカニズムが理解でき参考になった。また、木材乾燥の基本を教えていただき、わかりやすかったなど。

(2) 木材利用促進講習会

- ・回収率74%
- ・主な意見：地球温暖化防止策の一つが、木材利用であることがわかり、当社の取り組みは間違いでは無かったことが聞けたので、タイムリーな講演でした。

2.1.4 講習会開催の課題

昨年度に比べ、アンケート回収率が低くなったことや、意見を賜る理由欄への回答記入が激減した事があげられる。また、講習会の開催情報経路を聞いたところ、受講者の大半は、支援センターからの案内によるものとの回答であったことから、開催情報の周知を、如何に行うかが課題となった。

表1 主な調査先

展示会名称・調査先
GOOD DESIGN EXPO 2011
ジャパンホームショー2011
国際エクステリア展
江間忠研究助成プロジェクト発表会
第19回 塗装工学分科会
第4回 名古屋国際木工機械展
第5回 木質科学分科会
第62回 日本木材学会

2.2 木質材料の利活用に関する技術動向調査

本研究会がターゲットとしている木材・木質材料の利活用に関する業界動向、技術動向、製品トレンド情報を把握するために、各業界団体が主催する学会や講習会、展示会へ参加した。主な調査先を表1に示す。調査では、「工業材料としての木材利用」を調査テーマとして、学会を通じた最新技術の情報入手に努めた。

学会や展示会を通し、サーモウッドやWPCについての情報収集に努め、有効な情報を入手することができた。

2.3 サーモウッドの製造、性能に関する研究

2.3.1 サーモウッド

公共建築物における木材利用促進法が制定されたことから、外壁材やエクステリア材としての利用に適した材料として、サーモウッドが着目されはじめている。

木材は、自然環境の下に曝されると、表面から劣化しはじめる。表面の割れ、変色、変形などの現象を起し、これに、腐朽菌による腐れやシロアリなどの害虫による食害などで、急激に劣化する。この欠点を克服するための技術が、加熱処理木材であるサーモウッドである。無垢の木材を、高温で熱処理し、木材に、耐久性、耐腐朽性、寸法安定性を付与するものである。

2.3.2 サーモウッドの試作、評価試験

新潟県産杉材を試験材として、熱処理釜を用い、サーモウッドを試作し、イエシロアリによる食害試験を実施した(図2)。

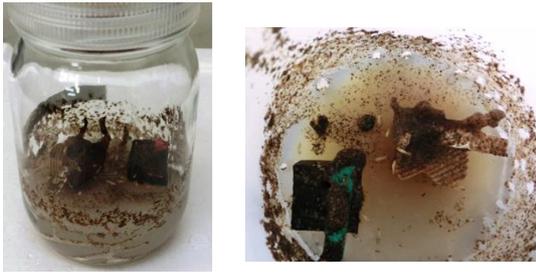


図2 食害試験の様子

試作したサーモウッドは、シロアリに食害され、良好な結果は得られなかった。今後、処理条件を変えたサーモウッドを試作し、評価試験を継続し実施する予定である。

2.4 WPC薄板の低コストな製造方法に関する研究

現在、創造的研究推進費の事業として実施している、「木材の新たな利用分野を開拓するためのプレス加工技術の開発」の中で、WPC材（板厚 3mm 以下）の曲げ加工が可能になった。

しかし、この研究成果を事業化するには、材料のコスト高が課題となっている。

この課題を克服するために、WPC薄板の低コストな製造法に関する要素技術研究を実施した。WPCは、木材に熱可塑性樹脂を注入し重合反応させ、硬化させるが、注入薬剤が重合反応時、揮発しやすいので、薄板WPCの製造は困難である。これを解決するために、揮発性の少ないオリゴマーを注入する実験を開始した。

2.5 共同研究等研究テーマ提案に向けた活動

企業との共同研究を次年度に提案する方向で活動している。

3. 結 言

(1)天然素材の利活用に関連する業界の技術の高度化を目的とした講習会を2回開催した。

延べ95名の方が参加し、好評を得た。

(2)講習会参加者を対象としたアンケート調査では、参加者の78%から回答を得た。その内の約8割の参加者から参考になったとの回答を得た。

(3)技術動向調査では、タイムリーな情報が入手出来た。木材・建材の新製品情報入手はジャパンホームショーや国際エクステリア展が、無垢の改質木材に関する情報が入りやすい。また、木材利活用に関する最先端の技術情報を入手するには、学会の参加が必要であることを認識した。

(4)技術動向調査の中から、工業材料としての木材利用をはかるための研究テーマ案件として、木材の加熱処理による「サーモウッド」、「WPC薄板」の製造方法について、的を絞り、要素技術研究を行った。

(5)木材の加熱処理技術(サーモウッド)は、新潟県産杉材の利用方法の一つとして、有効な技術と思われる。我が国における、新築の木造住宅着工件数は、年間、約38万棟である。木材に薬剤を注入すること無く、防蟻、防腐が可能であれば、住宅環境における人に優しい技術となり得る。

(6)WPCのカーブ曲げ加工が可能になることでWPCを利用した新製品開発が可能となる。しかし、現時点でのカーブ曲げ加工に用いるWPC材の供給方法では、高コストとなり現時点では、製品化されても競争力がないので、これを可能にするには、低コストによるWPC薄板の製造が必要不可欠であるので、これを可能にすることにより、WPCを利用した製品開発が可能となる。想定している具体的な製品としては、携帯端末機などのカバーやステーションナリーの分野での展開が期待できると思われる。

素形材研究会報告

伊関 陽一郎* 宮口 孝司* 皆川 要* 宮口 弘明*
土田 知宏* 矢内 悦郎* 佐藤 亨* 堀 祐爾*

Report of Collegium for Materials Process Technology

ISEKI Yoichiro*, MIYAGUCHI Takashi*, MINAGAWA Kaname*, MIYAGUCHI Hiroaki*,
TUCHIDA Tomohiro*, YANAI Etsuro*, SATO Toru* and HORI Yuuji*

1. 緒 言

鍛造は、金属材料に力を加えて形を変える（造る）とともに金属組織を緻密均一化する（鍛える）加工法であり、自動車や建設機械、産業機械から包丁やはさみ等身近な刃物まで多くの工業製品に適用され、ものづくりには欠くことのできない基盤技術の一つとなっている。

古くから利用されており基本的には成熟した技術ではあるものの、品質・コストに対する要求はますます厳しくなっていることから、技術や技能の向上に対する積極的な取り組みが求められている。

新潟県は県央地域を中心として鍛造加工を行う企業が集積しており、鍛造業の全国組織である社団法人日本鍛造協会には新潟県内 28 社が加盟している。これは大阪府（29 社）に次ぐ規模で愛知県（26 社）よりも多い。この 3 府県で協会加盟社の半数を占めており、新潟県は全国でも有数の鍛造加工集積地といえる。

鍛造と共にもものづくりには欠くことのできない金属熱処理についても、東日本の熱処理業者の団体である東部金属熱処理工業組合の加盟 81 社中 10 社が新潟県内に事業所を持ち、神奈川、東京に次ぐ数となっている。さらに組合非加盟の企業や専業ではなく社内で製造工程の一部門として熱処理を持つところも多く、県内の熱処理に関係する企業は相当数に上る。

このように鍛造や熱処理は新潟県の製造業に

おいて重要な位置を占めているといえる。

今年度は昨年度に引き続きこの鍛造技術を中心に取り上げ、熱処理技術も含めた形で「素形材研究会」として、鍛造技術と熱処理技術をキーワードにセミナー開催や専門家による技術相談などの事業を行った。

2. 活動概要

2.1 技術セミナー

今年度は、昨年度のセミナー参加者へのアンケート結果を元に希望の多かったテーマを選定し、2 回の鍛造技術セミナーを開催した。加えて、昨年度と同様熱処理に関するセミナーを 1 回開催した。

毎回 20～50 名程、延べ約 100 名の参加者があり、いずれの回も概ね好評であり、各回のアンケートでセミナー等今後の活動に関する意向調査を行った。



図 1 セミナー風景

* 県央技術支援センター

●鍛造技術セミナー

第1回 (11月25日)

「鍛造業の海外事情」

講師：鈴木 太 氏

((社) 日本鍛造協会)

第2回 (1月27日)

「鍛造業における品質管理」

講師：進士 文雄 氏

(日本大学生産工学部)

●熱処理技術セミナー (1月17日)

「金型を高機能化するための

表面処理の選び方」

講師：仁平 宣弘 氏

(仁平技術士事務所)

2.2 専門家による現地技術相談

熱処理技術の専門家と共に企業へ出向き、現場で技術的な課題について議論した。

今年度は2回計4社を訪問、各社の課題に対し意見交換を行った。各社とも温度測定や歪み発生への対処、受入れ時の注意点など日頃抱えている様々な問題点について、講師の豊富な実務経験に基づいたアドバイスを得られ好評であった。

第1回 1月17日

講師：仁平宣弘 氏 (仁平技術士事務所)

第2回 3月13日

講師：山方三郎 氏 (山方技術士事務所)

3. 課題とその対応, 総研の取り組み

これらの活動を通して得られた意見・情報をもとに、地域の鍛造技術における課題とそれに対する今後の工業技術総合研究所での取り組みについて検討した。

(1) 知識習得の機会設定

最新技術情報の収集や若手従業者育成の要望は強く、セミナーなど地元で気軽に参加できる

勉強の場が求められている。

そのため、中央や地域の関連団体との連携による方法も含め、セミナー等各種情報・知識習得の機会の設定に務めることが必要。

また、ハンマー鍛造に関しては全国的に見ても集積している地域であることから、その特徴を積極的にPRしたり、地域全体での人材育成を行うといった取り組みが求められる。

(2) さらなる技術支援

鉄系ほどの仕事量は見込めないものの、耐熱合金やマグネシウムなど鉄系以外の材料の鍛造技術の開発あるいは医療、航空機といった新たな分野への展開や鍛造を応用した技術開発などを模索する動きも見られるようになってきた。

これらに対し、工業技術総合研究所としては共同研究や受託研究(ミニ共同研究)あるいは日常の相談業務等支援制度を有効に活用して、企業ニーズに即した技術開発・支援を行っていくことが求められる。

また、素形材技術の方向性を検討する上で参考となるような情報を収集し、セミナーや相談を通じて企業に提供していくことも必要。

4. 結 言

昨年度に引き続き鍛造技術を中心として、セミナー開催に主力をおいた形で次のような研究会事業を行った。

- (1) 鍛造技術および熱処理技術についてセミナーを計3回開催。毎回20~50名程、延べ100名程の参加者があり、内容的にも良好な評価を得た。
- (2) 企業の現場で外部専門家から直にアドバイスを受ける技術相談を実施。各企業が抱える問題点について、個々具体的な議論を行い有益なアドバイスを得た。
- (3) これらを踏まえ、工業技術総合研究所としての取り組みを検討した。

ナノテク機器利用技術講習会

坂井 修* 山田 敏浩* 菅野 明宏* 樋口 智*

Practice on Device Production with Nanotechnology Equipments

SAKAI Osamu*, YAMADA Toshihiro*, KANNO Akihiro* and HIGUCHI Satoru*

1. 緒 言

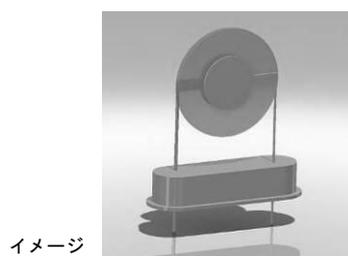
電子機器、光通信、医療機器の小型化に伴い、微細形状を付与した高機能部品や超精密加工部品の利用拡大が進んでいる。これらに対応する技術に、ナノテクノロジー（物質をナノメートル[1nm=10⁻⁹m]領域で自在に制御する技術）があり、国の重点支援技術領域に指定されるなど製品の高付加価値化を実現する技術として期待されている。しかしながら、本県の主要な製造業である一般機械、精密機械等既存企業の取組みは、先端産業であるがゆえの技術習得や導入の難しさ（機器が高額）のため、進んでいないのが現状である。そこで、既存産業へのナノテクノロジー技術の導入、普及を図るため、NICOナノテク研究センター機器を利用した技術講習会を実施した。

なお、本技術講習会はNPO法人長岡産業活性化協会（NAZE）の平成23年度産業基盤形成支援事業の一部である。

2. 講習会の概要

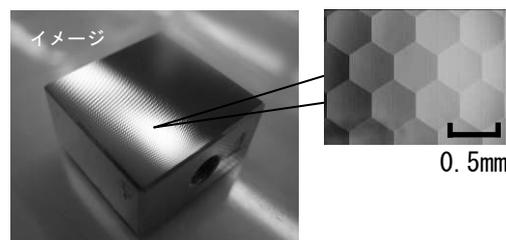
MEMS製品の加工技術および超精密加工技術、評価技術を対象として技術講習会を実施した。実習テーマとして次の2つを設けた。

- a) MEMS装置を使用した水晶振動子（図1）の試作・評価（MEMS研修と記す）
- b) 超精密加工機を使用したマイクロレンズアレイ金型（図2）の試作・評価（超精密研修と記す）



イメージ

図1 水晶振動子



イメージ

図2 マイクロレンズアレイ金型

2.1 MEMS 研修

MEMS加工技術は、半導体リソグラフィー技術等を用いて、シリコンなどの表面に微細な形状を形成する技術である。本技術講習会では、作成したテキストを使用してMEMS加工に関する講演（「MEMS加工技術の基礎知識+α ～シリコンから水晶デバイスの応用まで～」新潟大学工学部 安部 隆氏）の後、水晶振動子を題材に、スパッタ成膜装置やドライエッチング装置を使用して試作・評価技術について実習した。図3にスパッタ成膜装置、図4にドライエッチング装置の外観を示す。

* 研究開発センター

2.2 超精密研修

超精密加工は、デジタルカメラや光学メモリのレンズ、液晶導光板などの光学部品やバイオチップの加工等で不可欠というべき技術となっている。本講習会では、作成したテキストおよび副読本¹⁾に基づき超精密加工の基礎に関する講義を行い、その後、超精密加工機を使用したマイクロレンズアレイ金型の試作および非接触三次元測定機による評価技術について実習した。図5に超精密加工機、図6に非接触三次元測定機の外観を示す。

加工機はファナック（株）の超精密ナノ加工機 ROBONANO α -0iAを使用した。当該加工機は、静圧空気軸受けを搭載する5軸加工機で、直線軸（X,Y,Z）の分解能は1nm，回転軸（B,C）の分解能は1/100,000度である。

測定機は三鷹光器（株）の非接触三次元測定装置 NH-3SPを使用した。当該測定機のオートフォーカス機構部の分解能は1nmである。



図3 スパッタ
成膜装置



図4 ドライ
エッチング装置



図5 超精密ナノ加工機



図6 非接触
三次元測定機

3. 講習会の実施方法

3.1 実施概要

講習会の概要を以下に示す。

《MEMS 研修》

実施日時：

平成23年10月18日，19日もしくは20日

実施会場：レーザー・ナノテク研究室

NICO ナノテク研究センター

参加者数：5名

《超精密研修》

実施日時：

平成23年10月26日，27日もしくは28日

実施会場：レーザー・ナノテク研究室

NICO ナノテク研究センター

参加者数：6名（募集定員）

3.2 タイムテーブル

各研修のタイムテーブルを図7，図8に示す。

<1日目>

10:00	～講演～ 「MEMS加工技術の基礎知識+ α 」 新潟大学工学部 安部 隆 氏
12:00	
13:00	～実習～ ・レジスト塗布 ・露光，現像，スパッタ ・ウェットエッチング
17:00	

<2日目>

10:00	～実習～ ・レジスト塗布 ・露光，現像，ドライエッチング
12:00	
13:00	～実習～ ・形状測定 ・測定・評価
17:00	

図7 MEMS 研修

<1日目>	
10:00	~講義~ ・超精密加工の基礎
12:00	
13:00	~実習~ ・ミーリングユニット概要説明 ・平面加工用工具取り付け ・平面加工
17:00	
<2日目>	
10:00	~実習~ ・工具取り付け ・動バランス修正 ・工具位置合わせ
12:00	
13:00	~実習~ ・マイクロレンズアレイ加工 ・非接触三次元測定機説明、測定 ・走査型プローブ顕微鏡説明、測定
17:00	

図8 超精密研修

4. 研修風景

研修風景を以下に示す。



【座学】



【ユニット取付け】



【加工】



【測定・評価】

<超精密研修時の様子>



【座学】



【ドライエッチング】



【測定】



【評価】

<MEMS 研修時の様子>

5. 結 言

- (1) 講習会終了後、受講者を対象にアンケート調査を行った。

概略としては、実際に機械に多く触れることができよかった、流れや工程が分かりやすく、ナノテクノロジーを身近に感じることができた等、肯定的な意見があった一方で、研修日数や研修回数を増やして欲しい、もっとPRするべきなどの指摘・要望も寄せられた。

- (2) 超精密加工やMEMS加工という比較的新しい技術分野について受講者の知識や認識に差異があるため対応が難しい面もあるが、今回参加いただいた企業のフォローアップや、今後同様の講習会を開催していく中で県内企業のニーズを把握し、講習内容の改善を進めていきたい。

参考文献

- 1) 竹内芳美，“超精密マイクロ切削加工”，日刊工業新聞社，2008

上信越公設研ネット環境対応技術分野交流会報告 ～環境負荷とコストの低減を目指す MFCA のすすめ～

大野 宏* 明歩谷 英樹*

Report on Technological Field Exchange Association for Environmental Issues of Jo-Shin-Etsu Prefectures

OHNO Hiroshi* and MYOBUDANI Hideki*

1. 緒 言

マテリアルフローコスト会計 (Material Flow Cost Accounting, 以下 MFCA と略す) は、製造工程の環境負荷低減とコスト低減の両立を同時に実現するための会計手法である¹⁾。これは、企業の生産工程において投入された資源 (原材料・設備・エネルギー・人員配備など) が最終的にどのようになったかを数値化「見える化」する手法で、経営管理の面からも注目されている。

群馬県、長野県、新潟県の工業系公設試験研究機関と (独) 産業技術総合研究所は、6 年前に「上信越公設研ネット」を立ち上げ技術的な交流をすすめているが、その中の環境対応技術分野交流会で MFCA の啓蒙普及に取り組んでいる。ここではその活動について報告する。

2. マテリアルフローコスト会計の概要

MFCA は、資源効率と経済効率の両立を図ることを目的とした環境管理会計の一手法で、投入したマテリアル (原材料) の流れを追いかけて最終製品になった「正の製品」と最終製品にならなかった「負の製品」に分けてコストを把握する手法である。

MFCA の導入効果について図 1 にそって説明する。MFCA 導入前は、製品を 99 個製造し損品が 1 個とすると損品率は 1% で、改善の余地が小さく改善ポイントが見つけない。また製品の原価はかかったすべての合計となり、製造

過程で発生する廃棄物等は経済価値をゼロとする。一方、MFCA 導入後は、原材料費 1,000 円 (120kg) に加工費・処理費 500 円をかけ、99kg の製品ができたすると、その差 21kg が廃棄物となる。正の製品と負の製品を金額に換算すると、それぞれ次のとおりになる。

$$\text{(正の製品)} \quad 1,280 = (1,000 + 500) \times 99 / 120$$

$$\text{(負の製品)} \quad 262 = (1,000 + 500) \times 21 / 120$$

この結果、投入した原材料の 17% が負の製品となり、廃棄物の生産に原材料費やエネルギーを使って一生懸命作っている状況が明らかになる。また、MFCA では生産プロセスの中まで目を向けるので、どこでロスが発生するか明確になり、図 1 の場合、工程 1 でより多くの廃棄物が製造されているため、工程 1 が最初の改善対象となる。

これまで負の製品は正の製品を作るための必要悪とされ、損品以外の負の製品はロスと認識されることが多かったが、MFCA ではこれをロスとして改善の対象にする。

3. 活動概要

3.1 講演会の開催

MFCA を普及するため、県内企業を対象に、講演会を開催した。いち早く MFCA を導入して効果を上げ、コンサルティングを業務にしている企業の方から MFCA の概要を、また、経済産業省の委託事業²⁾に参加し、実際に MFCA を導入して実績を上げている企業の方から事例を、それぞれ講演していただいた。講演会の概要を表

* 企画管理室

表 1 講演会の概要

開催日	演題と講師
10/6	「マテリアルフローコスト会計入門」 キヤノン IT ソリューションズ株式会社 ソリューション事業本部 システムアナリスト/システム監査技術者 佐藤洋氏
	「マテリアルフローコスト会計のすすめ～ 事例事業を経験して」 サンデン株式会社 環境推進本部 渡辺一 重氏

1 に示す。

3.2 普及促進事業

経済産業省関東経済産業局が上信越公設研ネットの活動に賛同し、群馬県、長野県、新潟県の企業に対し MFCA の導入を支援する普及促進事業を実施することになった。群馬県と長野県から各 2 社、新潟県から 1 社が参加し、これらの企業はコンサルタントから指導を受けた。参加した企業の概要を表 2 に示す。具体的な取

表 2 参加企業の概要

所在地（県）	業種
群馬県	住宅建材製造業 ダイカスト業
長野県	めっき業 電子基板製造業
新潟県	印刷業

り組みとして、最初に参加者全員が講習会に参加し、その後 2 回ずつコンサルタントから企業の現場で指導を受け、最後に公開形式の発表会でそれぞれの企業担当者が成果を発表した。

3.2.1 講習会

群馬県、長野県、新潟県の参加企業と、これら企業を支援する公設試験研究機関の担当者が一堂に会し、指導を担当する株式会社フューチャーマネジメントアンドイノベーションコンサルティングから MFCA の概要を聞いた。また、各企業ごとに分かれて投入する各種マテリアル

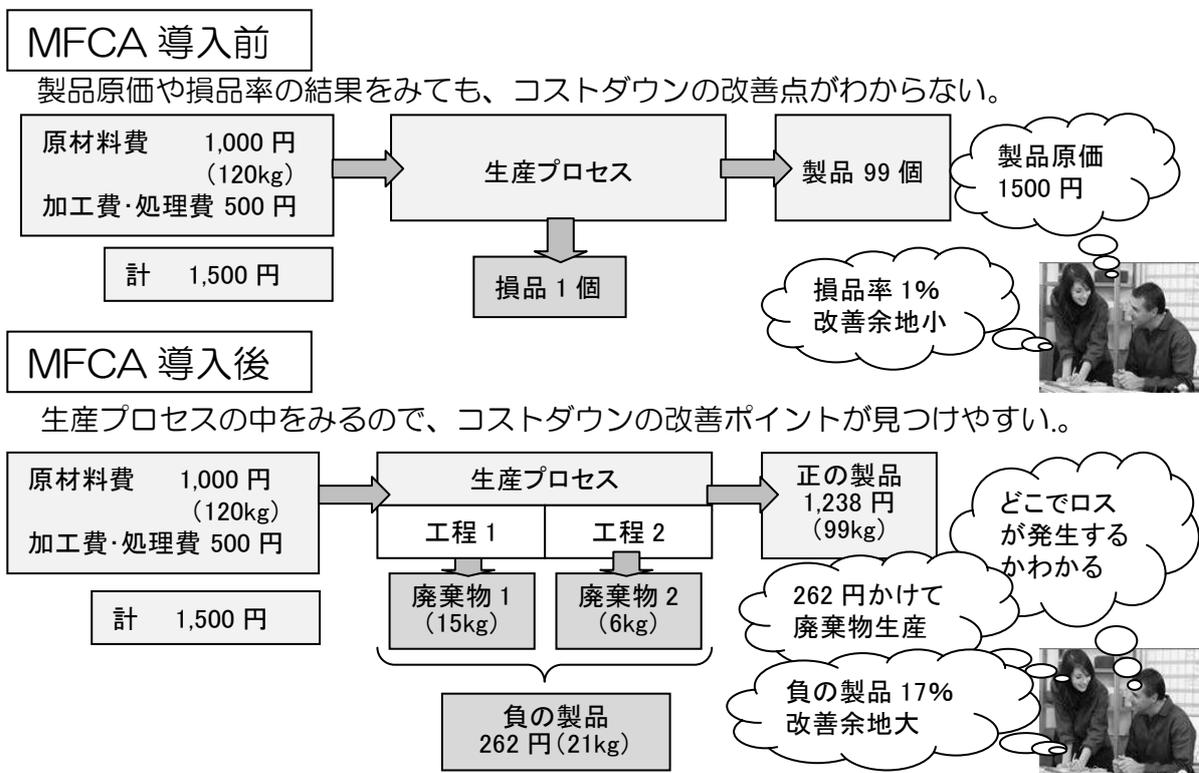


図 1 MFCA 導入の効果

の流れを解析し、どのマテリアルを対象にするか検討した。

新潟県からは MFCA に関心を持っていた印刷メーカーが参加した。主なマテリアルは紙とインクである。紙は原材料の中で占める割合が非常に高いため、その流れを把握しているが、インクはきちんと把握していない。ただ、紙にかかるコストが非常に高く、途中で廃棄する量も多いので、今回は紙の流れを追跡することにした。

3.2.2 現地指導

コンサルタントが2回企業を訪問し現地で指導した。1回目は、コンサルタント、公設試験研究機関職員および企業担当者が製造現場を見て回り、どの製造ラインを対象にするか決定した。また、どのようにして紙の流れのデータを取るか指導を受け、投入された紙のうちどれだけ正の製品と負の製品になるか、次回まで企業担当者がデータを把握することとした。2回目は取得したデータを解析し、データの取得漏れがないか確認した。企業担当者が当初予想したより多くの負の製品が明確にされ、廃棄物を減らす方法を検討した。

3.2.3 成果発表会

新潟県から参加した印刷メーカーでは、投入された紙のうち、どの部分が正の製品と負の製品になるか報告があった。また、改めて紙の流れを実測するなかで、①印刷機の調整に使うよい資材の量について、指示があいまいであった、②紙の測定を行っているが、担当者によって微妙に異なっていた、③調整等での余分に印刷する「あまり製品」が予想以上に多い、が明確になり、すぐにでも改善できるとの発表があった。住宅建材メーカーからは、仕事全体が数値化されるため、どこにロスがあるか理解しやすく効果的な改善に取り組めると報告があった。ダイカストメーカーからは、不良品はリターン材として

工程内でリサイクルしているためロスとは感じていなかったが、実は負の製品になっており、また、熱エネルギーの損失が大きく改善の必要性を感じた、との発表があった。めっきメーカーは、熱エネルギー等をこれまで測定していなかったが、公設試験研究機関の職員の協力で測定し見える化され、損失の大きさを実感し、現場作業者にも数字で説得できるようになった。電子基板メーカーは、電気料金を固定費と考えていたが、一部は負の製品となり削減の対象であることを知り、また、投入したはんだの多くが廃棄されており、はんだ槽の改良に取り組んでいる。

一般的に MFCA では、コンサルタントから4~5回の現地指導を受けないと改善までとりつけない。今回は予算の関係で3回しかできなかったが、参加した全社で MFCA の導入により新たな気づきがあり、企業が主体となって本格的な改善に取り組んでいく予定である。

4. 結 言

- (1) MFCA の啓蒙普及のための講演会を開催し、多くの企業から参加していただいた。
- (2) コンサルタントから MFCA の指導を受けながら、県内企業への導入を支援し、当初予想したより多くの負の製品が明確になった。
- (3) 今後も上信越公設研ネットで MFCA の啓蒙普及に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 安城泰雄, 下垣彰, “図説 MFCA (マテリアルフローコスト会計) -マテリアル・エネルギーのロスを見える化する ISO14051”, JIPM ソリューション, 2011, p20.
- 2) <http://jemaisc.com/flow/mfca/>「社団法人産業環境管理協会ホームページ」, 平成 20 年度経済産業省委託事業サプライチェーン省資源化連携促進事業, 2012 年 3 月 26 日閲覧