

平成25年度

宮城県産業技術総合センター研究報告

The Annual Research Report of Industrial Technology Institute, MIYAGI Prefectural Government

No.11 (2013)

目次

1. LD(ライフガードデザイン)の高度化による災害対応製品開発	1
2. 3D形状測定による伝統工芸産業における補修作業の高度化	5
3. 微量分析及び前処理技術の高度化	8
4. コンピュータ設計支援による最適化設計に関する研究	15
5. 車載機器におけるEMC対策	17
6. 鋳造合金の流動性評価技術の確立	24
7. ホットエンボスによる微小二面コーナーリフレクタアレイの成形技術の開発	27

LD(ライフガードデザイン)の高度化による災害対応製品開発

畠 純子・伊藤 利憲・篠塚 慶介
企画事業推進部

東日本大震災の経験を活かした災害対応製品開発を行うことにより、震災復興につながる産業とすることを目的として研究を実施した。当センターが震災前より取り組んできた「ライフガードデザイン」「キッズデザイン」を活かし「震災対応製品」「減災製品」を企業、大学、デザイナーと連携し、商品化を実現した。また、その開発プロセスであるアイデア展開を効率的に行えるツール「LDチャート」を作成し、災害対応製品開発をスムーズに行えるプロセスも確立した。

キーワード: 東日本大震災, ライフガードデザイン(LD), 災害対応製品, キッズデザイン(KD)

1. 緒言

東日本大震災は県内の中小企業に甚大な被害をもたらした。震災が原因での倒産・廃業が多数発生し、災害時における企業の事業継続への対応が明暗を分ける結果となった。

災害時の事業継続のためには受身の体制ではなく攻めの体制づくりが不可欠になってくる。そのためのオンリーワン商品や独自技術の確立は企業にとって必要である。これらを確立するためにも、今回の震災の経験を活かし、センターが震災前より取り組んできた「ライフガードデザイン(以下 LD)」「キッズデザイン(以下 KD)」を活かした災害対応製品開発を行い、震災復興に繋がる産業の基盤づくりと企業の競争力向上を図った。

2.LD(ライフガードデザイン)とKD(キッズデザイン)について

2.1 ライフガードデザイン(LD)とは

平成20～21年度の当センターの研究において提言された災害製品開発のガイドライン。日常使いもしたくなるようなデザイン性を有していながらも災害の時には役立つことで、消費者の安全・安心向上が期待できる災害製品を開発することを目的とした概念。(図1)

2.2 Kids Design(KD)とは

次世代を担う子どもたちの健やかな成長発達につながる社会環境の創出のために、デザインを役立てようとする考え方。「子どもたちの安全・安心に貢献するデザイン」「子どもたちの創造性と未来を拓くデザイン」「子どもたちを産み育てやすいデザイン」、3つの概念のいずれかを満たすモノ・コトを促進する活動。(図2)

1. 人命・財産保護への配慮

2. 平易な使用法の追求

2. 肉体的に困難があっても使える

4. 災害時のいつ使うかが明確

5. 平時にも使える考慮

図1 ライフガードデザインガイドライン

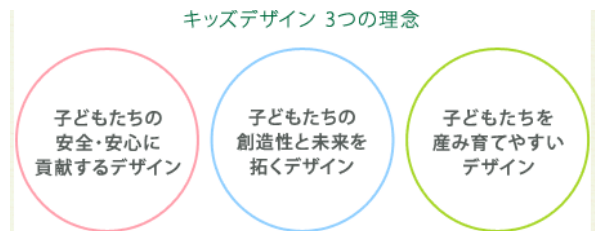


図2 キッズデザインの概念

3. 新しい災害対応製品開発

3.1 LD×KD研究会の発足と活動

LD×KD視点の商品開発を目指した活動を行うために研究会(LD×KD研究会, 通称 ゆるびっく)を発足した。

研究会は11団体(企業, 教育機関), 14名にて活動を開始した。平成24～25年度に14回の研究会を開催。参加企業はLDやKDの概念に対し共感又は理解があり、震災後、防災製品の必要性やあり方, 宮城から発信するものづくりに積極的に関わることを目的として集まった。



図 3.研究会の様子

3.2 LDやKDに基づく災害対応製品開発

災害対応製品を開発するにあたり、LDやKDの概念をもとに製品開発を行った。

開発工程は以下のとおり。

- (1) 開発メンバー: LD×KD研究会の参加者
- (2) アイデア展開:ブレインストーミング法
- (3) アイデア抽出: 会員企業の技術的シーズ, 実現可能性, 市場性, 新規性を総合的に判断し抽出
- (4) 試作, 製作: 研究会企業の自社技術で製作

①製品名「つみきめっと(仮称)」の開発

・開発の背景

東日本大震災後、児童館にヒアリングをした際「児童館には災害時、子どもたちを守るものがない」「震災後、避難する時に荷物を持っていたので、子どもたちが両手を使えなかった」という意見があったことから、普段から子ども達の傍にあり、いざという時に子ども達の身を守るものが必要との声に基づき開発が開始された。(図4)



図 4.つみきめっと(仮称)

・製品特徴

日常は積み木として、非常時には頭部保護などの非難製品に変化する。また、積み木の一部が避難用バッグとして変形する。

児童館、保育所の児童や幼児を落下物から守り、避難

をスムーズに行うことを目的としたもの。

・開発団体: 東北工業大学 クリエイティブデザイン学科

②製品名「IDEA PAPER FOR LIFE」の開発

・開発の背景

日常の使用時にも災害に対する意識向上や新しい災害対応製品のアイデア展開に生かされることを目的として開発された。(図5)



図 5. IDEA PAPER FOR LIFE

・製品特徴

災害から身を守る知恵や災害対応製品開発のヒントが盛り込まれたノート。イラスト化された災害対応製品アイデアが各ページに印刷されており、イラストをヒントに様々な発想が生まれ、防災の意識向上につながる。

・開発団体: 株式会社東北堂, 宮城県産業技術総合センター

③耐震キャスター

・開発の背景

東日本大震災の際、コピー機などの大型複合機が動き、被害が拡大された、という事例があったためコピー機を固定できる製品が開発された。(図6)

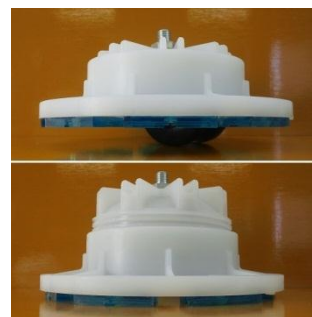


図 6. 耐震キャスター

・製品特徴

地震発生時にコピー機などの重量機器の移動を制限する製品。機器のキャスター部を交換・取付けて使用する。

開発団体: 株式会社エムジー, 宮城県産業技術総合センター

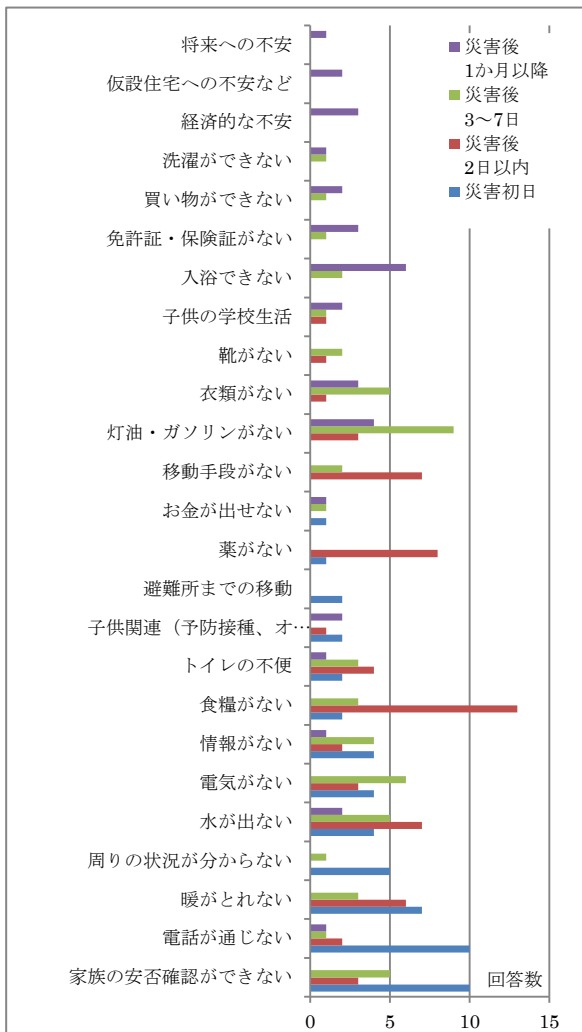


図 9. アンケート集計結果(単純集計)

図9にアンケート集計結果(単純集計)を示す。この図より災害直後は家族の安否、状況が分からないなど情報に関する項目が高かったが、2日目以降では食糧や薬など生活に関する項目が高かった。

4.4 アンケート内容を反映させたチャートの修正と検証

アンケート内容からチャート内のキーワードの見直しと時間軸の位置の見直しを行い(表1)、視認性を考慮した図に修正した。(図10)

表 1. アンケート結果とチャートのキーワード比較

アンケートで多かったニーズ	チャート図での関係するキーワード
家族の安否確認ができない	→伝える、電波、持ち運び、電波、情報、自家発電
電話が通じない	→伝える、電波、持ち運び、電波、情報、自家発電、電
暖がとれない	→保温、包む、寝る、空気、特殊素材
水が出ない	→飲む、機能、浄化、ワンタッチ
食糧がない	→缶、食べる、感想、真空パック、レトルト、長期保存

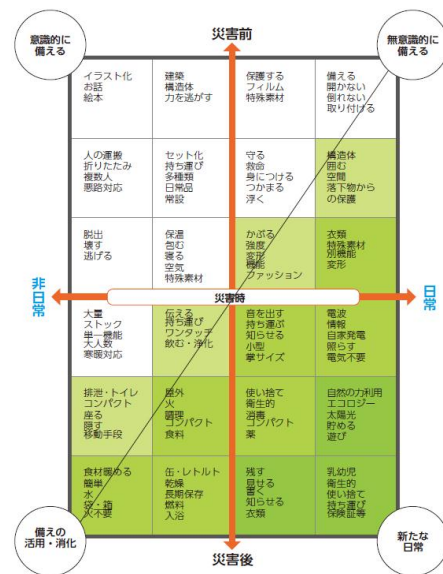


図 10. LD チャート(T3)

検証方法

LDチャート(T1)と同様の手法で行った。

結果

- (1) 言葉の組み合わせのため、画像などの情報に偏らない自由なアイデアが出やすい
- (2) 他の要素の言葉も一目でわかる為、アイデア展開のヒントになる
- (3) 画像の解釈の違いによる個々のズレが少ない

5. LDチャートの実施評価

LDチャートを実際に製品開発のアイデア展開に使用し、実施評価を行った。

実施評価内容

- ・新技術を使った防災製品開発アイデア展開 (研究会会員企業)
- ・自社製品マイナーチェンジのアイデア展開 (研究会会員企業)
- ・他社防災製品のマイナーチェンジのアイデア展開 (アイデア展開内容を企業へ提案)

6. 結言

本研究により、東日本大震災の経験を生かした製品開発を行い、県内企業の新規事業開拓のきっかけを作ることができた。またLD概念の直感的なアイデア展開が可能なツールを開発することにより、効率的な災害製品開発のプロセスを確立することができた。

3D 形状測定による伝統工芸産業における補修作業の高度化

伊藤利憲・篠塚慶介・畠純子
企画・事業推進部

伝統工芸産業は、地域産業の顔ともなる特徴的な産業分野である。全国的に生産規模の縮小が続く昨今、伝統技術を生かしながらも新たな展開を行う必要に迫られている。そこで、伝統工芸での特徴的な形状をデータ化することで、3次元CG化やAM装置による立体造形などが可能となり、高価な伝統工芸品の補修イメージの提案も容易になるなど、伝統工芸品の活用・応用の幅が広がる。本研究では、そのプロセスの実践を通じて、新たな産業化に向けた取り組みを行うもの。

キーワード：伝統工芸、立体形状計測、デジタイザ、アーカイブ、3Dプリンタ、アディティブマニュファクチャリング(AM)、光造形

1. はじめに

伝統工芸品は、海外向けや全国向けの地域の特徴的な顔となる地域固有の産業分野である。しかしながら、全国の伝統工芸品の生産額は、平成2年の5390億円をピークに減少を続け、平成18年においては2020億円と半分以下となる¹⁾など厳しさを増している。加えて、東日本大震災において、県内伝統的産業は多大な被害を被り、伝統的工芸品製造企業や職人が多く被災した。一方、震災後、伝統工芸品産地には、震災で壊れてしまった伝統的工芸品を大切に長く使いたいという顧客から、修理の依頼が多く舞い込んでいる。そうした中、仙台・宮城を代表する伝統的工芸品の1つである仙台箆笥は、約20の製造企業と職人らが製造・修理を行っているものの、明治や大正、昭和初期製造の製品もあり、古いものは図面も残っていない。特に仙台箆笥の構成要素である打出金具は、技術的にも高度であり、歴史的伝統形状としての価値も高い(図1)。



図1 仙台箆笥手打ち金具

また、そうした歴史的価値のある貴重な箆笥金具も修理完了と共に修理工房を離れ、伝統的形状を後世に伝えることが難しい。そこで、本研究では、仙台箆笥の特に金具形状の計測を行い、3Dデータ化された形状を活用した新たな製品開発プロセスを確立する。データ化さ

れた形状は、伝統形状を活用したこれまでにない製品開発が期待できる。

2. 形状計測上の技術的課題

仙台箆笥の金具形状を計測し、立体形状をデータ化することで、後世への形状の伝承が可能になるだけでなく、立体造形やCG、機械加工などの応用展開が容易になる。しかし、データ化のためには計測上の様々な技術的な課題解決が必要である。

外観の自由形状計測においては、測定対象に触れることなく、比較的高精度で、計測範囲の広い非接触3Dデジタイザ(図2)が適している。

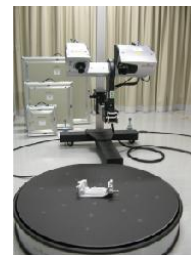


図2 3D デジタイザ

本研究において3Dデジタイザを用いて形状計測を行ったが、CCD方式の3Dデジタイザの計測原理上の問題から、対象が透明、高光沢、黒色を有する場合、それぞれ光が乱反射するか吸収されてしまい、測定ノイズが多く通常では満足な計測を行う事ができない。

仙台箆笥金具は、鉄や銅の素材色、またはそれらへの高光沢黒漆塗り等であり、3Dデジタイザでの形状計測には困難が伴う表面色である。

そうした場合、通常は、計測用の白粉のスプレーを塗布するが、本計測においては、測定対象が複製不可能な貴重品であるために、白粉スプレーの塗布を行う事ができない。よって、金属質素材を、白粉スプレー塗布無しで計測することが求められた。

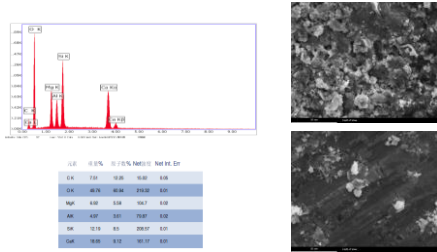


図3 白粉スプレーの成分分析, SEM 観察

白粉スプレーの成分を分析したところ(図3)、主に無機物のため、白粉による金具への影響は少ないが、スプレーに含まれる有機溶剤が金具にダメージを与える可能性があり、また、金具文様の細かな谷部分に白粉が残存することが考えられ、貴重度の高い金具へのスプレー使用は憚られる。

また、迅速な計測プロセスを確立することで、今後の計測数の増加を見込めることから、スプレー塗布の時間をかけずに形状計測ができる計測方法の確立が必要であった。

3. 計測方法ならびに活用方法の検討

計測したデータを活用し、何らかの手法で再度立体化するための計測精度を出すのが最終的な目標ではあるが、精度を求めると、計測時間を要することや、データサイズが膨大になり、計測した点群データ処理時間がかかってしまい、実用上現実的でない。そのため、データ品質とデータ処理性のバランスをとりながら最適計測精度を導き出していった。

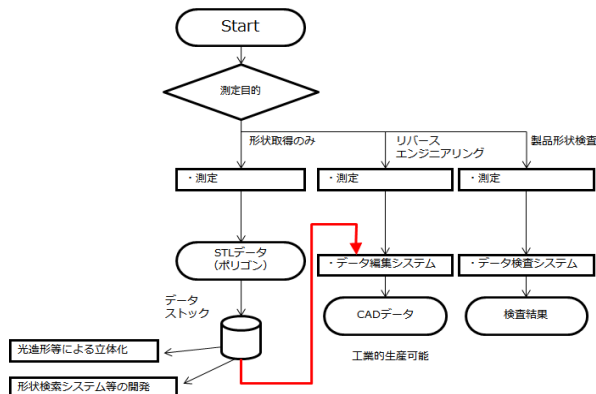
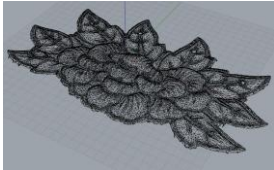



図4 計測データの活用フロー

計測データを、光造形等のアディティブマニュファクチャリング装置(以下、AM 装置)で再度立体化するためのデータ精度に比較して、デジタルアーカイブのためのそれは、さほど精度を要求しない。むしろ、データ転送速度や表示高速化のために、より小さなデータサイズが求められる(表1)。

表1 計測データ品質比較

表示用 STL データ	造形用 STL データ
	
30,020 ポリゴン ファイルサイズ 1.47MB	135,776 ポリゴン ファイルサイズ 6.63MB

4. 計測手法の最適化方法

最適な計測パラメータを導出するにあたり、測定条件を同一にするために、デジタイザと連動した回転テーブルに測定対象を載せ、回転させながら計測した。

計測パラメータの変動要素は、以下の通りである。

- 1 回転あたりの計測数 5~20 (72° ~18°)
- 明るさ 10~1000
- 各種計測オプション
- 室内灯 ON/OFF

これらを調整しながら、計測条件は 42 パターン、480 ショットの計測を行い、計測パラメータの最適化を図った(図5)。

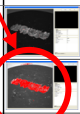
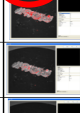


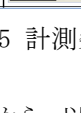

パラメータ				計測結果	結果
室内照明	shot	測定設定 (回転設定)	明るさ		
ON	10	25	10		明るすぎ
ON	10	100	10		明るすぎ
ON	10	50	10		明るすぎ
	10	40	10		暗すぎて計測不可能
	10	30	10		
	10	30	20		
	10	30	30		
	10	50	30		
	10	50	50		

図5 計測条件の導出

これらの計測条件から、以下の最適パラメータを導き

出した(表 2)。

表 2 金具向け計測最適パラメータ

パラメータ	コメント
測定範囲カメラモード 100 200 400 800	金具サイズを一度計測可能な範囲
測定設定 10+ 500 +1000	510以上だと明るすぎ、400以下だと暗すぎる
ショット数 1~ 20 (18度づつ) ~360	21ショット以上だとデータ量膨大かつ品質向上しない。20が必要十分。
室内蛍光灯 OFF (外光もカーテンなどで遮光するとベスト)	同時に測定設定を500(明るめ)に設定することで乱反射を押さえる。
non-Cooperative surface mode ON	多少の乱反射があっても計測を行う事が可能。

以上のパラメータを導き出したことにより、従来、金具計測 1 点あたりの計測時間が大幅に短縮された。

また、計測可能な表面色が、従来計測法に比べて増加し、高光沢の漆以外は容易な計測が可能となった。高光沢かつ黒色のように、計測困難条件が重なる対象物は不可能であった(表 3)。

表 3 従来計測法との比較

	従来計測法	最適パラメータによる計測
計測時間 (金具 1 点あたり)	約 2 時間	約 30 分
計測可能な表面色		
非光沢の鉄色	○	○
銅 	×	○
鉄+ウレタン透明樹脂 	×	○
鉄+ウレタン透明樹脂 (高光沢) 	×	○
鉄+高光沢漆 	×	×

5. データの応用活用

金具形状の容易な計測が可能となったことから、金具データを計測して、光造形などの AM 装置による造形や 3 次元 CG 化するプロセスが大幅に短縮された。

3 次元 CG 化により、箆筒金具の仕上がりシミュレーション(図 6)が比較的容易に行え、かつ、その形状を応用した新たな商品開発への可能性も高まる。

また、データ閲覧が容易にできるよう、形状の簡易デジタルアーカイブ化も行った(図 7)。



図 6 CGによる新商品仕上がりシミュレーション



図 7 3D デジタルアーカイブ試行版

タブレットPCでは、ソフトやデータが Wi-fi もしくは携帯電話網を使って供給されるため、過剰に大きなデータサイズでは、表示できない場合がある。そのため、表示用のデータと造形加工用の詳細データは別途持つ必要がある。

6. まとめ

本研究において計測した金具は、歴史的な技術が伝承された職人の手で作られた価値の高いものである。震災後、伝統工芸品への修理依頼が増加しているが、このような形状をデータ化した応用展開は、修理という枠を超えて、新たな製品開発などへの可能性を見出すことができた。

計測した金具形状は、様々な用途展開が可能ではあるが、本物の金具が具える迫力や魅力はデータでは完全には置き換え難いものがある。一方、データ化された形状は、容易な仕上がりシミュレーションや、後世への金具形状の伝承、新たな商品開発のきっかけなど、データならではの目的に用いられるのが適している。こうした計測データによる応用が、伝統工芸の枠を超えて着目され、伝統工芸産業や仙台箆筒全体の発展がなされれば幸いである。

そしてまた、本計測手法は、伝統工芸だけでなく、高光沢な素材を有する比較的薄い形状の一般的な計測事例へも応用が可能である。

参考文献

- 1):伝統的工芸品産業をめぐる現状と今後の振興施策について(経済産業省製造産業局伝統的工芸品産業室 2009)
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/download/files/g80825a07j.pdf>

微量分析及び前処理技術の高度化

阿部 一彦・對崎 岩夫・赤間 鉄宏・千葉 亮司・宮本 達也・千代窪 毅
材料開発・分析技術部

県内企業から寄せられる微小物質、薄膜、微量成分の分析の要望に応え、広くサービス提供する体制を構築することを目的として、新たな前処理・分析技術を検討した。

酸化膜厚2～8nmのSiウエハー標準物質をX線光電子分光装置(XPS)で測定し、極微量表面を従来法より精度良く測定するための検討を行った。また誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES)測定用の前処理法として加圧酸分解を導入し、樹脂やセラミックス等難分解性試料の分解時間短縮を試みた。またマイクロサンプリングツールを導入し、粒径100 μ m以下の微小有機物の採取を行った。

キーワード：極表面分析、角度分解法、全反射法、加圧酸分解法、マイクロサンプリングツール

1. 緒言

本センターでは、各種分析機器を用いて、県内製造業に対する技術支援を行っている。製造業の品質管理支援の観点からは、フーリエ変換赤外分光分析装置(FT-IR)やエネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDXRF)を用いた微小物質の分析、X線光電子分光分析装置(XPS)を用いた表面付着物の分析、誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES)を用いた製品混入微量成分の分析等の対応を行ってきた。

しかしながら、既設の装置を用いた従来法による対応では、顧客からのあらゆる要望に応えられるわけではなく、対応に限界が生じてきている。例えば、膜厚10nm以下の薄膜等については、XPSを用いても対応できない場合があった。また、セラミックス中の微量成分分析等においては、素材が難分解性のため、ICP-OES分析の前処理に数日を要し、職員がかかりきりになる必要もあったことから、従来法による前処理では実質的なサービス提供に支障がある場合があった。

このような背景の下、既設の分析装置の活用を幅を広げ、県内企業から寄せられる微小物質、薄膜、微量成分の分析の要望に応え、スピーディー、かつ、広くサービス提供する体制を構築することを目的として、新たな分析方式、前処理方式の導入を試みた。具体的には①XPSによる表面に付着した微量物質の分析②加圧酸分解法の導入による難分解性試料前処理の短縮化③マイクロサンプリングツール導入による微少有機物の分析である。以下、個別に報告する。

2. 表面に付着した微量物質の分析手法の検討

2.1 背景

XPSは試料にX線を照射させ、励起した試料表面の光電子を検出することで、試料の極表面の元素及び化学構造を分析する装置である。SEM/EDXやEPMAに比べて下地の影響を抑えることが出来ることから、試料表面の変色原因調査や薄膜の分析などに用いられている。しかし、表面の異物の厚みがnmオーダーの場合、下地の元素や化学構造が強く検出されてしまい、表面状態の解析に支障を来していた。そこで、下地の影響を抑える方策として、試料を傾斜して検出器との角度を変えることで試料極表面の分析を行う角度分解法、全反射を起こす角度(臨界角)条件でX線を入射し、試料極表面の分析を行う全反射法を試み、下地の影響を抑えて最表面のみの情報を得られる条件を検討した。

2.2 実験方法

XPSは日本電子製のJPS 9010MCを用いた。

測定試料として2種類の試料を用いた。一つは表面酸化膜の膜厚が既知のSiウエハー標準試料である。膜厚は2nm, 4nm, 6nm, 8nmである。最表面としてSiO₂、下地としてSiが検出される。

もう一つの試料は、最表面にSi層を持つMo板材である。最表面としてSi、下地としてMoが検出される。下地の元素がSi酸化膜との挙動比較のために測定した。

2.2.1 角度分解法

角度分解法の模式図を図1に示す。通常測定では試料平面と検出器が平行であるため、下地の影響が強く出る。この時の角度を0°とした上で、試料ステージを徐々に傾斜させていき、試料極表面のピークのみ確認できる角度を検証した。

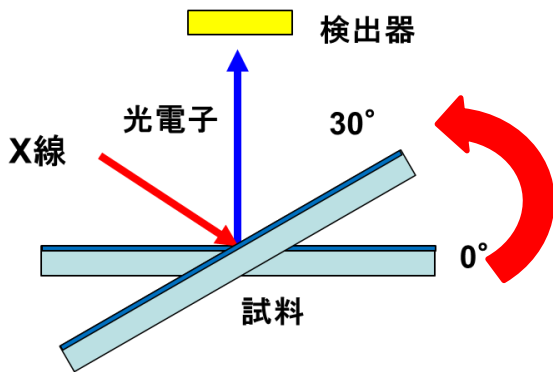


図1 角度分解法の模式図

傾斜角度は0°から20°ずつ傾斜し、下地のピークが減少する角度(70°～)からは5°ずつ変化させて測定した。

2.2.2 全反射法

全反射法の模式図を図2に示す。X線源として通常はMgを用いてきたが、全反射法を実施するためAlの単色光で実施した。また、臨界角でX線を入射するため、検出強度が減少することから、試料高さを調節し、最適強度になるように設定した。

入射角度は1°, 0.5°, 0°で行い、その時の試料の最表面元素と下地の元素の検出強度を調べた。

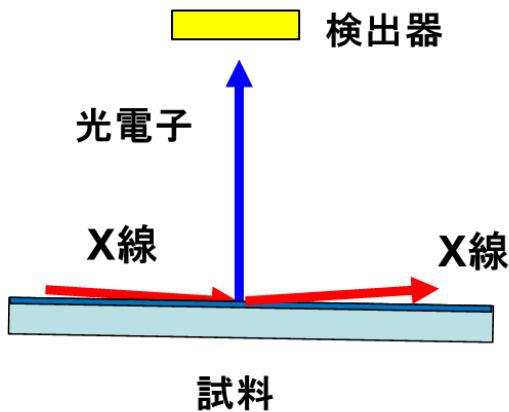


図2 全反射法の模式図

2.3 実験結果

2.3.1 角度分解法

各Siウェハーにおける角度分解スペクトルを図3～6に示す。試料の傾斜角度が増加するに伴い、下地であるSiピーク強度が減少している。

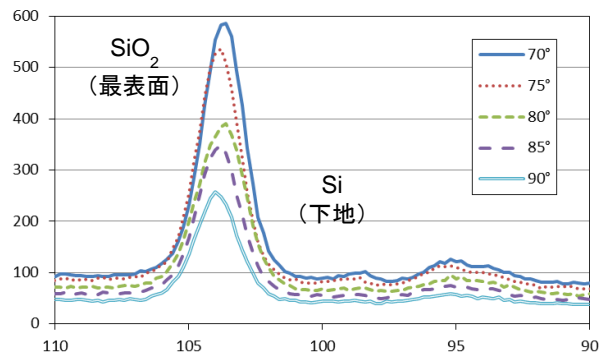


図3 酸化膜 8nm の角度分解スペクトル

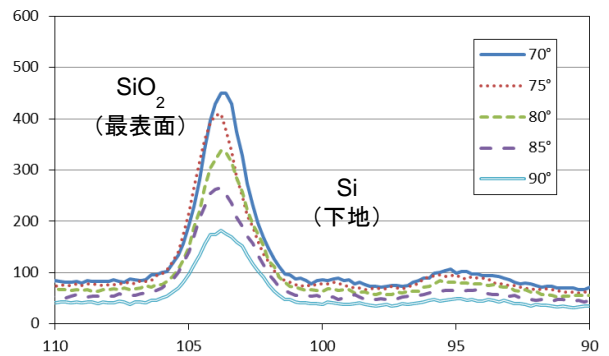


図4 酸化膜 6nm の角度分解スペクトル

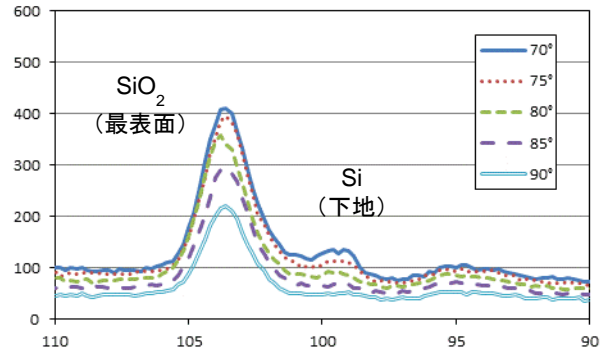


図5 酸化膜 4nm の角度分解スペクトル

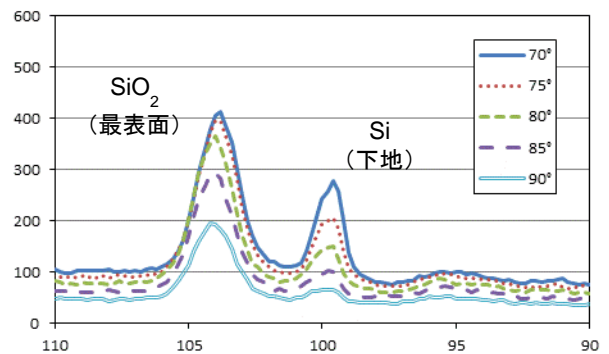


図6 酸化膜 2nm の角度分解スペクトル

この結果より、Siピーク強度が検出限界以下になる角

度を計算したところ、4nmでは85°、6nm及び8nmでは75°においてSiのピーク強度が検出限界以下となり、最表面であるSiO₂のみが検出された。

このように、試料を傾斜させることで、最表面のみの情報を採取することが出来ることを確認した。

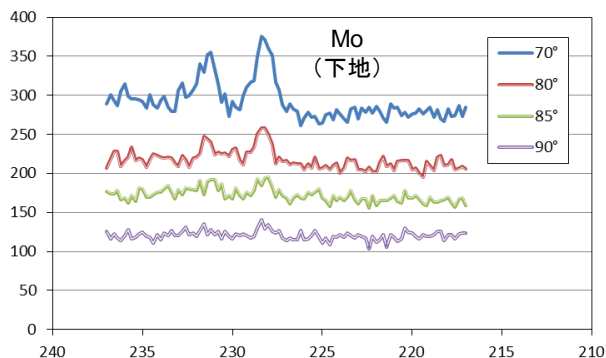


図7 Si/Moの角度分解スペクトル

この結果より、Moピーク強度が検出限界以下になる角度を計算したところ80°であった。MoはSiに比べてピーク/バックグラウンド比が小さいため、Siウェハーの場合と比べて小さい傾斜角度で、最表面(Si)のみの情報を得ることが出来る。

2.3.2 全反射法

各酸化膜における全反射のスペクトルを図8～11に示す。

角度分解法の時と同様に、Si ピーク強度が検出限界以下になる角度を計算したところ、2nm、4nm、6nm では検出限界以下にならず、8nmでは0°の時にSiのピーク強度が検出限界以下となった。このように、角度分解に対して、全反射法については最表面のみの情報を採取することが困難である。

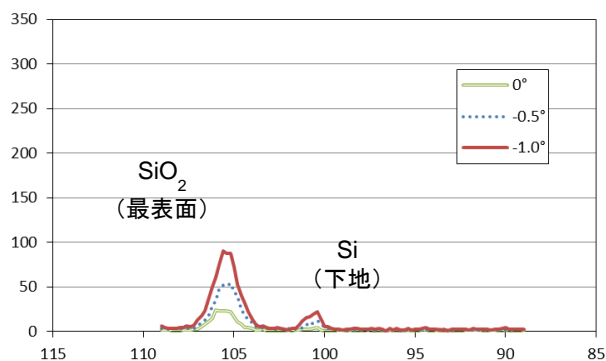


図8 酸化膜8nmの全反射スペクトル

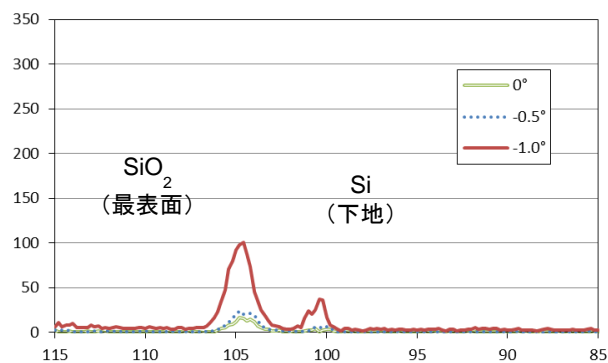


図9 酸化膜6nmの全反射スペクトル

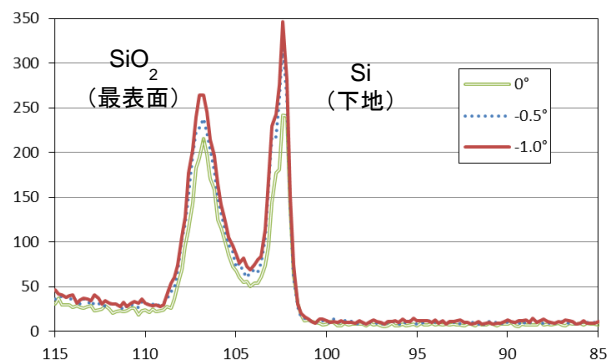


図10 酸化膜4nmの全反射スペクトル

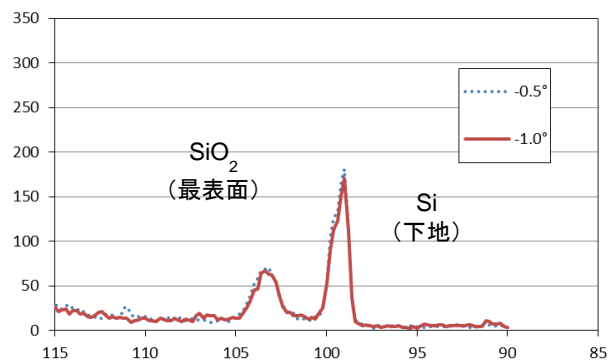


図11 酸化膜2nmの全反射スペクトル

3. 難分解性試料の前処理方法の検討

3.1 背景

現在、製品中のRoHS対象物質の定量分析や、使用材料の種別特定を目的とした材料中の無機元素定量分析の相談が数多く寄せられている。無機元素定量分析の方法として、ICP-OESで測定する方法が考えられる。ICPは試料の不均一性によるバラツキが少なく、また溶液中のppbレベルでの測定が可能であるため材料中の微小元素の定量分析にも有効である。しかし、ICPで測定するためには試料を溶液化する必要があり、通常は試料をコンカルビーカーに入れて塩酸や硝酸等の酸を加え、加熱分解を行っている(開放系酸分解)。しかし、

この手法ではプラスチックやセラミックス等の分解に多大な時間を要する。また、酸分解中はその場を離れることが出来ないため、ICPの前処理に関する手間と時間が膨大になり、そのためICPによる無機元素定量分析に対するサービスが進んでいない。

開放系酸分解に対し、PTFE製の容器に試料と酸を入れて密閉し、ステンレス製の外筒に入れて電気炉にて加熱し、反応を促進させる加圧酸分解法は、分解時間の短縮に加え、分解中の拘束も不要となる。

今回、三愛科学(株)製HU-25型テフロン製加圧酸分解容器を用いて各種プラスチック、金属、セラミックスの分解を試み、時間の短縮化について検討した。

3.2 プラスチックの加圧酸分解

3.2.1 実験方法

今回、分析に用いた試料を表1に示す。いずれも標準物質であり、濃度既知の試料である。試料はペレット形状であり、試料量は50mgとした。測定対象元素はRoHS対象元素のCr,Cd,Pbである。

表1 プラスチックの成分

		Cr	Cd	Pb
BCR680	ポリエチレン	114.6±2.6	140.8±2.5	107.6±2.8
BCR681	ポリエチレン	17.7±0.6	21.7±0.7	13.8±0.7
JSAC0601-2	ポリエステル	10.8±0.4	5.2±0.1	11.6±0.3
JSAC0602-2	ポリエステル	108.8±2.2	51.7±0.6	109.3±1.6
CRM-8102a	ABS樹脂	27.9±0.4	10.8±0.2	108.9±0.9
CRM-8103a	ABS樹脂	269.5±4.5	106.9±1.4	1084±9.4
アクリル樹脂	アクリル樹脂	252.9±0.5	193.2±0.9	495.8±2.4

分解溶液として(1+1)硝酸+過酸化水素水、(1+1)硫酸+過酸化水素水、(1+1)硫酸+純水の3種類について検討した。試料と分解溶液をテフロン容器に入れて密封し、電気炉にて200~220℃で2~4hr加熱した。加熱後、溶液化した試料を定容し、ICPで濃度測定した。

3.2.2 実験結果

プラスチックの分解溶液の検討結果を表2に示す。通常のプラスチック酸分解に用いられる硫酸は溶け残りが生じるが、硝酸+過酸化水素水では分解が進んでいたことから、プラスチックの分解には(1+1)硝酸+過酸化水素水を用いることにする。

表2 プラスチックの分解溶液の検討結果

	HNO ₃ +H ₂ O ₂	H ₂ SO ₄ +H ₂ O ₂	H ₂ SO ₄ +純水
ポリエチレン	○	×	×
ポリエステル	○	×	×

さらに、分解温度と時間について検討した結果を表3に示す。100℃では分解は進行せず、150℃では溶け残りが出やすい。200℃では分解時間が2hrでも分解が進んでいることから、分解温度は200℃とし、処理時間は2hr以上とすることにする。

表3 プラスチック分解温度及び時間の検討結果

	100℃		150℃		200℃	
	2hr	4hr	2hr	4hr	2hr	4hr
ABS	-	×	-	△	○	○
ポリエチレン	-	-	-	○	○	○
ポリエステル	-	-	-	△	○	○
アクリル	-	×	-	×	○	○

以上の条件で、各プラスチック標準物質を加圧酸分解法で分解し、溶液化した試料をICPで測定した結果を表4に示す。Cr, Cdについては認証値とほぼ同等の結果が得られている。Pbについては認証値より高めに出ており、テフロン容器の内壁にPbが残留していた可能性があるかどうか確認する必要がある。

表4 プラスチック中重金属のICP測定結果

(単位: ppm)	Cr		Cd		Pb	
	認証値	測定値	認証値	測定値	認証値	測定値
BCR680	114.6±2.6	113.5	140.8±2.5	144.3	107.6±2.8	116.4
BCR681	17.7±0.6	18.1	21.7±0.7	21.6	13.8±0.7	18.1
JSAC0601-2	10.8±0.4	11.7	5.2±0.1	5.4	10.8±0.4	18.5
JSAC0602-2	108.8±2.2	110.2	51.7±0.6	52.9	109.8±1.6	122.7
CRM-8102a	27.9±0.4	27.5	10.8±0.2	10.8	108.9±0.9	117.0
CRM-8103a	269.5±4.5	275.6	106.9±1.4	109.5	1084±9.4	1117.3
アクリル樹脂	252.9±0.5	258.7	193.2±0.9	194.1	495.8±2.4	499.9

3.2.3 応用例

同様の手法を用いて、同じ難分解試料であるゴムの分解を行った。その結果を表5に示す。アクリルゴム、天然ゴムについては(1+1)硝酸+過酸化水素水で分解することが出来るが、フッ素系ゴムについてはフッ酸を使用しても溶け残りが生じ、溶液化することが出来なかった。こうした試料については燃焼フラスコ法等、他の方法で分解することが望ましい。

表5 ゴムの分解溶液の検討結果

	HNO ₃ +H ₂ O ₂	濃HNO ₃ +H ₂ O ₂	HNO ₃ +HF
アクリルゴム(シート)	○	-	-
天然ゴム(輪ゴム)	○	-	-
フッ素系ゴム(Oリング)	△	△	△

3.3 金属の加圧酸分解

3.3.1 実験方法

分析に用いた試料を表6に示す。いずれも標準物質であり、濃度既知の試料である。試料はフレーク状であり、試料量は50mgとした。測定対象元素は鉄鋼の特性に影響を及ぼすCr,Mn,Niである。

表6 鉄鋼試料の成分

(単位：%)	Cr	Mn	Ni
S09CK	0.036	0.4	0.031
SWRH62B	0.041	0.78	0.028
SCM420	1.07	0.76	0.19
SNCM616	1.53	1.07	2.97
SKH4	4.24	0.37	0.08
SKH55	4.16	0.30	0.072
SUS309S	22.51	1.61	13.69

分解溶液として(1+1)塩酸+(1+1)硝酸+過酸化水素水、(1+1)硫酸+純水について検討した。

プラスチックと同様に、試料と分解溶液をテフロン容器に入れて密封し、電気炉にて200~220℃で2~4hr加熱した。加熱後、溶液化した試料を定容し、ICPで濃度測定した。

3.3.2 実験結果

金属の分解溶液の検討結果を表7に示す。

表7 金属の分解溶液の検討結果

	HCl+HNO ₃ +H ₂ O ₂	H ₂ SO ₄ +純水	H ₂ SO ₄ +HNO ₃ +HF
低合金	○	○	—
高速度鋼	△	△	○
ステンレス鋼	○	○	—

以上の結果より、鉄鋼材料については(1+1)塩酸+(1+1)硝酸+過酸化水素水でも、(1+1)硫酸+純水でも分解可能であった。ただし、W等の難分解金属が含まれている高速度鋼に対しては(1+1)硫酸+(1+1)硝酸+フッ化水素酸を使用した。

溶液化した試料をICPで測定した結果を表8に示す。Cr,Mn,Niについては認証値とほぼ同等の結果が得られている。

表8 ICPによる定量分析結果(Cr,Mn,Ni)

(単位：%)	Cr		Mn		Ni	
	認証値	測定値	認証値	測定値	認証値	測定値
S09CK	0.036	0.033	0.40	0.36	0.031	0.021
SWRH62B	0.041	0.041	0.78	0.79	0.028	0.016
SCM420	1.07	1.02	0.76	0.76	0.19	0.16
SNCM616	1.53	1.31	1.07	0.91	2.97	2.39
SKH4	4.24	3.78	0.37	0.35	0.080	0.080
SKH55	4.16	4.01	0.30	0.32	0.072	0.077
SUS309S	22.51	16.66	1.61	1.42	13.69	11.06

3.3.3 応用例

同様の手法を用いて、非鉄金属についても分解条件の検討を行った。その結果を表9に示す。ニッケル合金のインコネルやアルミ合金については、硝酸+過酸化水素水では分解が困難であり、硝酸+フッ化水素酸を用いる必要がある。

表9 非鉄金属の分解条件の検討結果

	HNO ₃ +H ₂ O ₂	HNO ₃ +HF	HNO ₃ +HCl
インコネル600	△	○	○
アルミ合金AC2B	△	○	—
アルミ合金AC4C	△	○	—

溶液化した試料のうち、アルミ合金についてICPで測定した結果を表10に示す。同じ試料を開放系酸分解で分解し、加圧酸分解法との比較をしたところ、ほぼ同等の結果が得られた。加圧酸分解のSi濃度が低いことについては、試料に溶液を投入した時にSiの一部が揮発したことが考えられる。

表10 アルミ合金のICP測定結果

(単位：%)		Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
AC2B	認証値	0.050	2.93	0.325	0.206	0.305	5.82	0.196
	開放	0.046	2.85	0.322	0.228	0.291	6.08	0.203
	加圧	0.047	2.86	0.313	0.229	0.294	5.38	0.206
AC4C	認証値	0.049	0.163	0.300	0.420	0.114	6.86	0.029
	開放	0.046	0.167	0.296	0.446	0.111	7.08	0.029
	加圧	0.045	0.166	0.285	0.445	0.111	6.01	0.029

3.4 セラミックスの加圧酸分解

3.4.1 実験方法

分析に用いたセラミックス試料を表11に示す。いずれも標準物質であり、濃度既知の試料である。試料は粉末状であり、試料量は0.1gとした。測定対象元素は

ファインセラミックス中に不純物として含まれているAl, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mnである。

表11 セラミックスの成分

		Al	Ca	Cr
CRM 8006-a	アルミナ	-	165.5±4.7	-
CRM 8003-a	窒化ケイ素	825.4±13.0	105.5±5.0	16.083±0.238
CRM 8002-a	炭化ケイ素	189±19	-	61.9±9.4

Cu	Fe	Mg	Mn
0.83±0.10	106.0±4.6	322±6	4.32±0.16
17.7±0.6	21.7±0.7	17.7±0.6	21.7±0.7
10.8±0.4	5.2±0.1	10.8±0.4	5.2±0.1

3.4.2 実験結果

セラミックスの分解条件の検討結果を表12に示す。

表12 セラミックス分解条件の検討結果

		分解溶液	分解条件
アルミナ	粉末	(1+1)H ₂ SO ₄ + 純水	200°C-4hr
窒化ケイ素	粉末	(1+1)HNO ₃ + (1+1)H ₂ SO ₄ + HF	200°C-7hr
炭化ケイ素	粉末	(1+1)HNO ₃ + (1+1)H ₂ SO ₄ + HF	220°C-16hr

炭化ケイ素のみ、分解に要する時間が16時間となっている。これはJIS R1616における分解時間と同じである。

溶液化した試料をICPで測定した結果を表13に示す。アルミナでは認証値より低めの数値となったが、窒化ケイ素及び炭化ケイ素はほぼ同等の結果が得られた。

表13 セラミックス標準試料のICP測定結果

(単位:ppm)		Al	Ca	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn
アルミナ CRM 8006-a	認証値	-	165.5	-	0.83	106.0	322	4.32
	測定値	-	118.6	-	0.85	81.9	374	3.12
窒化ケイ素 CRM 8003-a	認証値	825.4	105.5	16.08	-	347.7	15.08	7.099
	測定値	672	104.8	15.2	-	357.2	15.5	7.1
炭化ケイ素 CRM 8002-a	認証値	189	-	61.9	11.5	130	-	1.60
	測定値	163.6	16.0	66.1	11.3	149.2	3.4	1.40

3.4.3 応用例

同様の手法を用いて、他のセラミックス粉末及び焼結体について分解条件の検討を行った。その結果を表14に示す。焼結体でも細かく砕くことが出来れば、8時間以内に分解することが可能である。

表13 各種セラミックスの分解条件の検討

		分解溶液	分解条件
アルミナ	焼結体	(1+1)H ₂ SO ₄ + 純水	220°C-7hr
窒化アルミ	粉末	(1+1)HNO ₃ + H ₂ O ₂	220°C-4hr
酸化マグネシウム	粉末	(1+1)HNO ₃ + H ₂ O ₂	220°C-4hr
炭化タングステン	粉末	(1+1)H ₂ SO ₄ + (1+1)HNO ₃ + HF	220°C-4hr
酸化イットリウム	焼結体	(1+1)H ₂ SO ₄	220°C-5hr

4. 微小有機物の測定

4.1 背景

製品内部や表面に付着している異物を同定する機器としてFT-IRや蛍光X線分析等が考えられる。IRは、試料に赤外線当て、分子の振動や回転運動を反映する赤外吸収スペクトルを測定し、分子種の同定を行う装置である。

微小試料を分析するためには、試料を採取し、分析装置の測定部にまで搬送する必要がある。通常はピンセットやニードル、メス等を用いている。しかし、試料が100 μm以下となると目視での確認は困難となり、拡大顕微鏡等で確認しながら採取しなければならず、また手作業で微小試料の位置に治具を運ぶことは困難である。

このような試料を採取するため、微小試料の採取を目的とした(株)マイクロサポート製のクイックジョイ(写真1)を導入し、採取用の試料として、ポリサイエンス社製の粒径90 μmのポリスチレン球(写真2)を用いた。



写真1 マイクロサンプリングツール



写真2 ポリスチレン球

4.2 導入結果

サンプリングツールの先端が異物を採取する様子を写真3に、IR測定部に移動する様子を写真4に示す。これらの動作がスムーズに行えることにより、微小有機物の分析が容易となった。

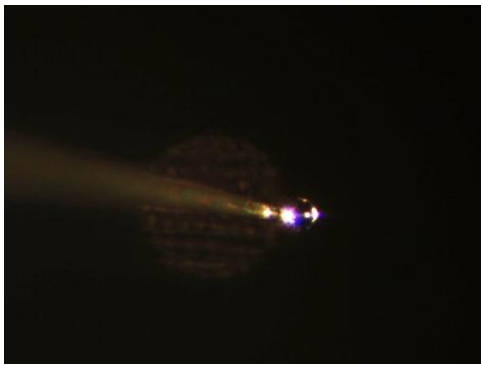


写真3 ポリスチレン球を採取した様子

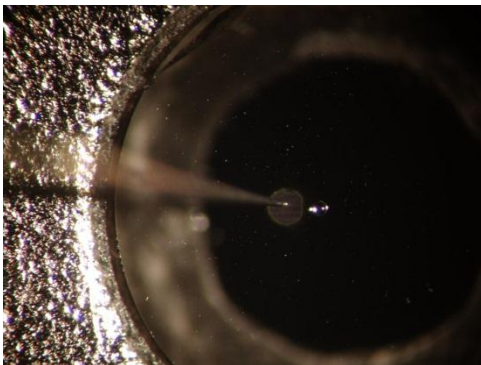


写真4 ポリスチレンをIR測定部に移す様子

5. まとめ

- (1) 極表面分析の手法として、XPSにおける角度分解法と全反射法を用いた。その結果、膜厚10nm以下の極表面分析が可能となる角度分解法の条件を見

出した。

- (2) 各種プラスチック、金属、セラミックス試料について加圧酸分解法を試み、おおよその材料について分解条件を見出し、一部の試料を除いて8hr以内で試料を分解することが可能となった。
- (3) 新たに導入したマイクロサンプリングツールにより、これまでは採取困難だった微小有機物の採取・測定が容易となった。

本研究により得られたこれらの知見や技術は、県内企業に対する新たな技術支援として展開していく。

コンピュータ設計支援による最適化設計に関する研究

久田 哲弥・萱場 智雄
自動車産業支援部

本研究では、産業技術総合センターが設備するCAEソフトについて最適化設計の手法を確立して、県内企業の製品設計および製造工程設計の期間の短縮と費用の低減の両立を実現することを目的とする。具体的には、企業との共同研究を通して、最適設計の手法を実践するとともに、解析技術全般について知見を深める。結果として、重要な解析ノウハウを多数得た。

キーワード：コンピュータシミュレーション(CAE)、最適化、構造解析

1. 緒言

県内中小企業が仕事を獲得するには、客先への提案として、設計した製品がどれだけの性能を有するのか、または同じ性能でどれだけ安価に製造できるかを証明する必要があるが、証明するための試作品を作るのに膨大な時間と費用がかかる。また樹脂製品を作るための金型設計で、問題なく製品が作られるか予めシミュレーションしなければ仕事が受注できないどころか、より安価に作る提案が客先から要求されている。これらはコンピュータシミュレーション(CAE)ソフトで対応可能だが、中小企業ではソフトが高額で導入できないほか、対応できる技術者を雇用する余裕がない場合が多い。

本研究では産業技術総合センターが設備するCAEシステムについて最適化設計の手法を確立して、県内企業の製品設計および製造工程設計の期間の短縮と費用の低減の両立を実現することを目的とする。

2. 背景

本研究ではCAEを活用して製品設計および製造工程設計にかかる時間と費用を大幅に低減する手法を確立する。これにより県内中小企業が自社製品を持つこと、また独自の製造方法を開発して高精度、高機能、低価格な製品を実現することを支援する。

3. 課題

これまでCAEを使った技術支援は行ってきたが、以下の課題があった。

(1)シミュレーション結果の妥当性について検証する方法が確立されていない。

(2)解析できない(計算が終わらない、解が収束しない、明らかに現実とは異なる結果が出る等)ケースについて、その原因と対策がノウハウとして蓄積されていない。

(3)解析結果で想定される性能が出ていない場合に、改良する方法について提案ができていない。

本研究では企業との共同研究を通して、最適設計の手法を実践するとともに、解析技術全般について知見を深める。

4. 研究内容

これらを解決するために、平成24年度は解析用のコンピュータを導入し、研究に供した。外観を図1に、仕様を表1に示す。それを用いて企業との共同研究を行い、最適設計の手法を実践するとともに、解析技術全般について知見を深めた。

具体的には、ある企業の所有する製造装置の最適化シミュレーションを行い、その結果を実機に適用することで、製造効率の50%アップ、品質の24%の向上、さらにメンテナンス性の向上を実現した。



図1 解析用コンピュータ

表1 解析用のコンピュータの仕様

CPU	Core i7-3770K 3.5GHz
メモリ	32 GB
SSD	240 GB
HDD	2 TB x2
モニタ	24inch x2

また、平成24年度は計21件、さらに平成25年度は計21件の技術改善支援を実施したが、前記の共同研究を含め、それらの成果は秘匿すべき内容のものであり成果を掲載することができない。それに代わり、CAEソフトを用いて得た解析結果の例を図2に示す。

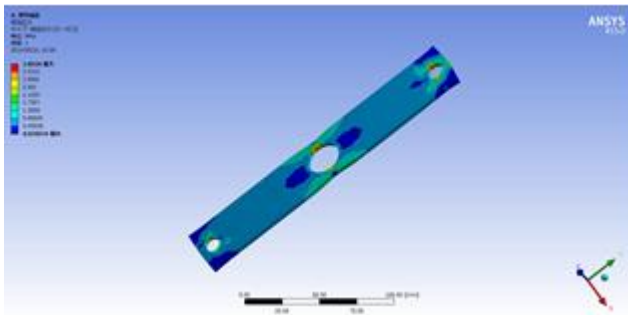


図2 解析結果の例

5. 結果

本研究において得られた、当センターにて用いているシミュレーションソフトに対するノウハウを次に示す。

(1) 構造解析の接触問題

従来、接触問題で面圧結果の出力において、接触要素の「圧力」では正しい結果が出なかった。これは接触面に対称要素を作っていたからであり、非対称要素とすることで解決することを見出した。

(2) 伝熱解析の接触問題

従来、接触箇所を持つ面に接触と境界条件を同時に与えると結果がおかしかった。接触面とその他の面をCADで分割しておくとういことがわかった(図3)。

(3) その他のノウハウ

・ソルバーコントロールでPCG(前処理付き共役勾配法: Preconditioned Conjugate Gradiate method)が選択されると、繰り返し計算が終わらず収束しない場合がある。

この場合は直接法(スパースソルバー)に変更するとよい。

- ・メッシュの詳細に「フィーチャー除去」を行うと、接触要素がなくなる現象が生じる。この場合は自動メッシュベースのフィーチャーをOFFにするとよい。
- ・3次元CADで接触面を生成する方法を確認した。
- ・付属CADソフトにて接触面を生成し、IGES形式やSTEP形式で出力するときの設定方法を確認した。
- ・熱流体解析で固体の異方性熱伝導率の入力方法(β機能)を確認した。
- ・流路の狭い部分を細かく要素分割する設定方法を確認した。
- ・流体解析で温度の収束が悪い場合の対処方法を確認した。

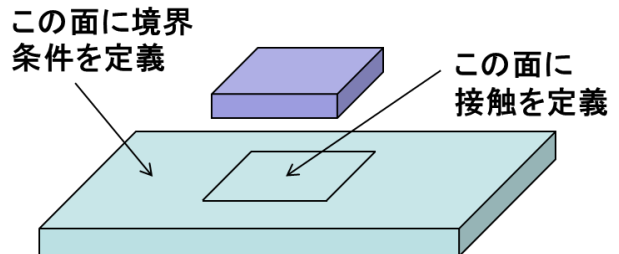


図3 伝熱解析における接触問題の解決方法

6. 結言

本研究では、CAE最適設計の手法を実践するとともに、解析技術全般について知見を深めた。2年間のまとめとしては次の通りである。

- (1) 企業との共同研究においてCAEの最適化問題についてノウハウを獲得し、企業にも有効な解析結果が得られた。
- (2) 42件の改善支援を実施し、機器開放を含めて2,038千円の収入を得た。
- (3) 2年間の技術改善支援で、多くのノウハウが蓄積できた。さらに過去の事例やソフトのQ&Aを活用してデータベース化を進める。

なお、JKAの補助金を活用して「ものづくり設計支援システム」を導入したことにより電磁場解析の機能が強化されたほか、構造・伝熱解析ソフトとの連携が可能となった。さらに県内企業から要望の多い樹脂流動解析が新たに加わり、これらのソフトが連携することで製品設計と製造方法(たとえば金型の設計)が可能となり、県内企業にとって大きな武器となった。

車載機器におけるEMC対策

中居 倫夫・沼山 崇・小松 迅人・坂下 雅幸
機械電子情報技術部

車載機器のEMC分野における技術支援ポテンシャルの向上を目的にして試験研究を実施した。自動車内の電気配線を行うためのワイヤハーネスを有した車載電子機器について、ハーネスからの電磁ノイズ放射(放射エミッション)や外部からハーネスに入り込んでくるノイズは、車載機器において重要なEMC (Electromagnetic compatibility: 電磁両立性)の課題である。本研究では、ワイヤハーネスを有した電子機器におけるノイズ伝播特性、ノイズ放射特性の把握、さらにはEMC評価方法として規格化されているCISPR25の測定に各種ハーネスを適用して比較するなど車載機器EMC対策に関する知見構築を行った。

キーワード: EMC, 車載機器, ワイヤハーネス, CISPR25

1. 緒言

近年、宮城県を中心とする地域には自動車産業が集積し、ハイブリッド車などの新型自動車が生産される状況となっている。自動車の低燃費化や安全機能の高度化、さらにオーディオ、情報機器の高機能化に伴い、昨今の自動車は、単なる機械装置ではなく高度に電子化された電子機械に変化してきている。宮城県内の電子情報産業も自動車の高度な電子化に商機を見出し、震災復興の足がかりとして自動車産業に参入するための積極的な動きを取っている状況である。

これに伴い平成21年度みやぎ発展税で車載用EMC測定設備を一部導入したが、今後、本県中小企業の自動車産業参入を進展させるために、車載EMCに関する技術支援の基盤を強化することが重要である。このためには、車載機器に対する正確な測定技術の確立が急務であり、この際に、車載機器特有の長いワイヤハーネスがEMCに与える影響の把握が課題となる。

これらの課題を解決するために、2年計画で「車載機器におけるEMC対策」という課題の試験研究を実施した。平成24年度は、供試体とハーネスとの配置による影響、擬似電源回路網(以下、LISN)の効果確認、情報機器用測定法との対比による測定方法の影響について比較測定を行った。平成25年度は、これを発展させて、ハーネス間の伝導ノイズクロストークとハーネスからの電磁波放射について、ハーネスの種類やシールド材の効果を明らかにする検討を行った。本報告では、これらの検討結果を報告する。

2. 実験方法

本報告の一連の実験は、車載機器EMCの測定規格であるCISPR25の測定方法を基本にして実験測定系を構築した。すなわち、ワイヤハーネスは、表面に接地導体板を付けたテーブルの上部に、厚さ5 cmの発泡スチロールの絶縁板を設置してその上に配置した。また、終端に擬似電源回路網(以下ではLISNと表示する)を接続することでハーネスの終端インピーダンスを一定にして実験や測定の再現性を確保した。

測定は、伝導性のノイズ測定実験には、シールドルームを用い、放射ノイズ測定実験には、3 m法電波暗室を用いた。実験に用いたノイズ発生源は、80 MHzを基本周波数として1 GHz超まで通倍ノイズを発生する自作のノイズ発生器を用いて行った(図1)。ハーネスからの伝導ノイズ測定や放射ノイズ測定には、テクトロニクス社のRSA3408Aスペクトラムアナライザを用いた。

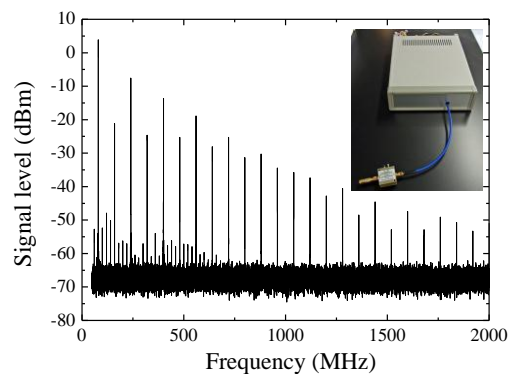


図1 ノイズ信号発生器の発生スペクトル

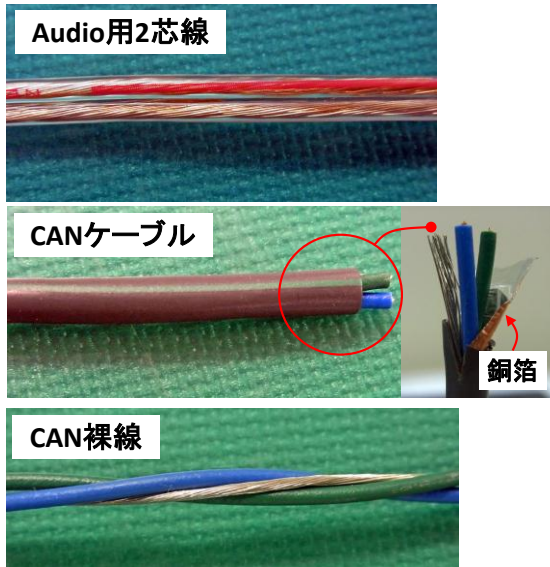


図2 実験に用いたワイヤハーネス

実験に用いたワイヤハーネスは、①カーオーディオ用の2芯線 ②デジタル信号用のCANケーブル ③CANケーブルの外部被覆とシールド箔を取り除いた2芯ヨリ線とGND裸線のツイスト線（以下ではCAN裸線と呼ぶ）、の3種類のハーネスを用いた。図2にこれらハーネスの写真を示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 擬似電源回路網(LISN)による測定再現性の確保

情報機器の放射ノイズ測定では設置が任意となっている電源部のインピーダンス整合器であるLISNがCISPR25では必須となっている。本報告の実験に先駆けて、LISNが測定再現性に及ぼす効果を実測することでLISNの必要性を確認した。測定は、CISPR25の放射エミッション測定のレイアウトにおいて、ハーネス終端部に自動車用12Vバッテリーを接続した場合と、終端短絡、終端開放した場合について放射エミッションの測定を行った。測定は、ネットワークアナライザを用いて、アンテナとハーネス間でS12測定を行うことで実施した。測定レイアウトの概略図を図3に示す。結果を図4に示すが、LISN無しではハーネス終端側の接続条件により放射状態が著しく異なり再現性を見出せないが、LISNを使用することで、良好な再現性が得られることがわかった。

この実験結果から、以下に報告する実験では、測定レイアウトで複数のハーネスを使用する場合には、ハーネス線1本につき1台のLISNを接続し終端する接続レイアウトで実験を行うことで測定再現性を確保して実験を行った。

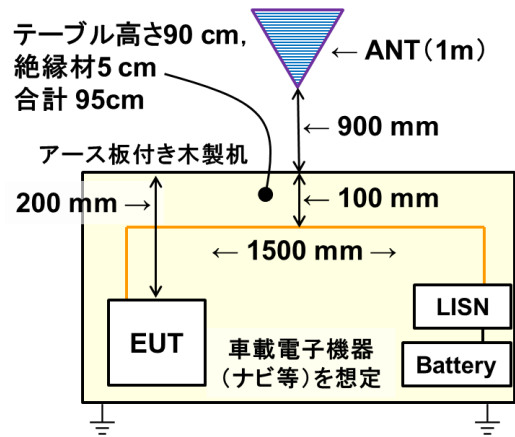


図3 放射エミッションの測定系概略図

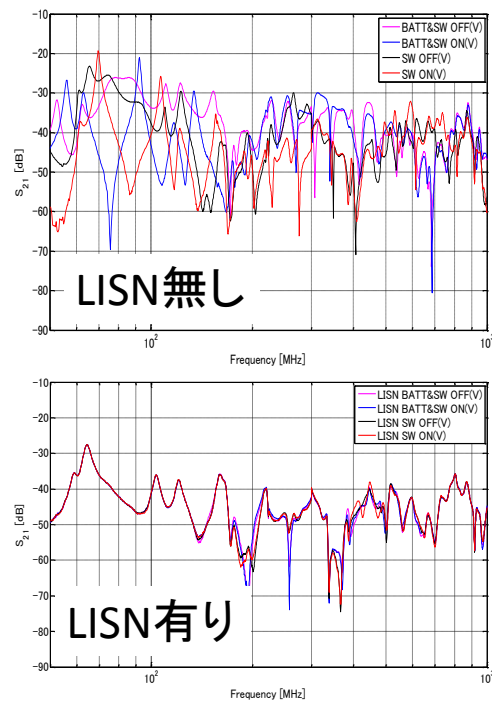


図4 放射エミッションに対する LISN の影響

3.2 ハーネスの特性インピーダンス

ハーネスの特性インピーダンスは、ハーネスを伝導するノイズ信号の反射や減衰に影響を及ぼすことから、ハーネス中のノイズ伝播特性に大きな影響を及ぼすパラメータである。自動車車内配線時のハーネス屈曲、隣接ハーネスの存在、導体である車体ボディーの存在がハーネスの特性インピーダンスを大きく変化させる場合には、これらの影響を無視することができない。本検討では、配線形状や近接導体にハーネスの特性インピーダンスが受ける影響について評価した。図5に実験装置

の概略図を、図6に実験装置の外観写真を示す。実験では、ハーネスの直線部に導体を近接させたり、他のハーネスを隣接させたりして特性インピーダンスの変化を測定した。

図7は、オーディオ用2芯線の特性インピーダンスをTDR装置で測定した結果である。図の横軸10 ns以下はハーネスの直線部であり約108 Ωのインピーダンスでほぼ一定になっている。10 ns以上は、ハーネスを巻き束ねた部分であるが、この部分では、10 Ω程度のうねりが見られる。

図8は、オーディオ用2芯線にCANケーブルを隣接させた場合の特性インピーダンスであるが、図6の測定と比較して誤差範囲内で有意差が認められなかった。

図9は、オーディオ用2芯線の直線部に、長さ200 mmの導電メッシュ布で2箇所覆った場合の特性インピーダンスである。この場合も、直線部のインピーダンスがほぼ一定であり、値も106 Ωと有意差が認められなかった。

以上の実験結果から、ワイヤハーネスの特性インピーダンスは、ハーネスを束ねた場合は、10 Ω程度の変化が生じるが、他のハーネスの隣接や導体の近接では特性インピーダンスが変化しないことがわかった。しかしながら、これらの条件でも、指先で強く圧着させた場合には、その部分の特性インピーダンスが局部的に25 Ω程度減少する結果が得られた。

3.3 ハーネス間のクロストーク

図10には、ハーネス間の伝導ノイズクロストーク(伝達)特性を評価した測定系の概略図、及び実験装置の外観写真を示す。ハーネスの導線は1本ずつ個別のLISN

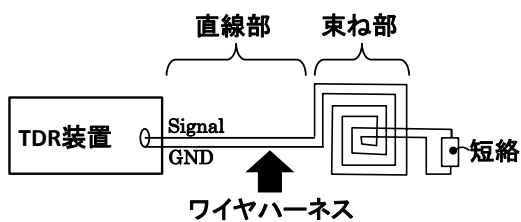


図5 特性インピーダンスの測定方法



図6 測定装置の写真

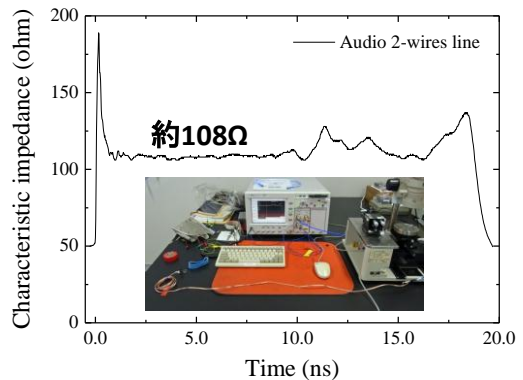


図7 オーディオ線の特性インピーダンス

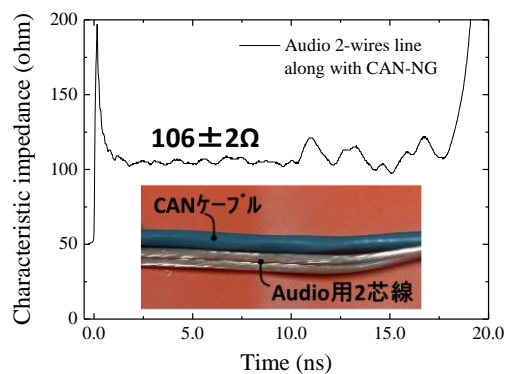


図8 特性インピーダンスに対する隣接線の影響

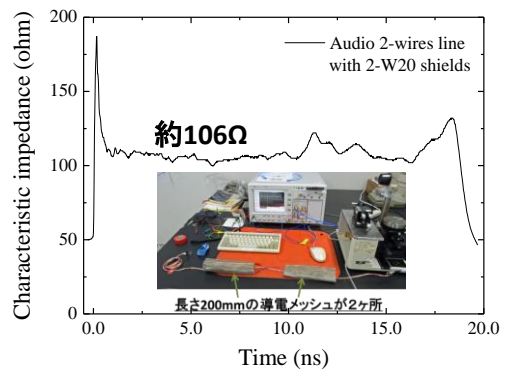


図9 特性インピーダンスに対する導電体の影響

を介して接地している。本実験では、ノイズ源となるハーネスから隣接する別のハーネスに伝達する伝導ノイズについて、ハーネスの種類による影響、すなわち、平行線とヨリ線の違い、シールド被覆の有無などによる影響を明らかにする目的で検討を行った。なお、これ以降の実験では、ノイズ発生源として、自作の発信機(図1)を用いた。

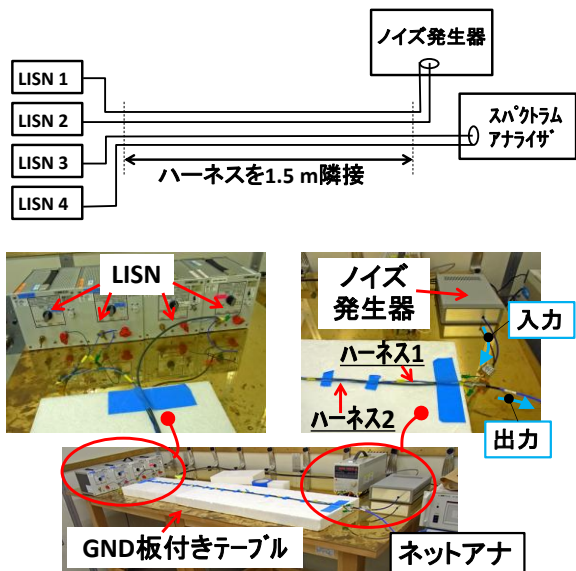


図 10 クロストークの実験装置概略図と写真

図11は、CAN裸線（シールドワイヤとリード線2本のヨリ線）をノイズ源として、ノイズの受け側ハーネスを、オーディオ2芯線とCANケーブルにした場合のノイズ伝達を比較した結果である。図11(1)は、CAN裸線からオーディオ2芯線に伝達した伝導ノイズのスペクトル波形である。ノイズレベルは、80 MHzの基本波で、-17 dBm、周波数は1 GHzを超えるノイズが伝達していることがわかる。図11(2)は、CAN裸線からCANケーブルに伝達したノイズである。80 MHz基本波のレベルで-30 dBmとオーディオ2芯線の場合より13 dB小さく、1 GHzを超えるノイズは伝達していないことがわかる。

図12は、オーディオ2芯線をノイズ源として、ノイズ受け側ハーネスを、CAN裸線とCANケーブルにした場合の伝達ノイズのスペクトル波形である。図12(1)は、オーディオ2芯線からCAN裸線に伝達した伝導ノイズのスペクトル波形である。ノイズレベルは、80 MHzの基本波で、-25 dBm、周波数は1 GHzを超えるノイズが伝達していることがわかる。図12(2)は、オーディオ2芯線からCANケーブルに伝達したノイズである。基本波のレベルで-31 dBmとCAN裸線の場合より6 dB小さく、1 GHzを超えるノイズが急激に小さくなっていることがわかる。

以上の結果から、ハーネス間のクロストークは、裸の平行2芯線 > ヨリ線 > シールド被覆付きのヨリ線の順番で伝達ノイズレベルが大きいことがわかった。また、図12の結果から、シールド被覆の効果は、1 GHz超で顕著であり、数百MHz台より低い周波数帯では、シールドの効果が小さくなることがわかった。これは、磁界を介したノイズ伝達は、薄いシールド箔では周波数の低い領域で遮蔽効果が小さくなることに起因していると考えられる。

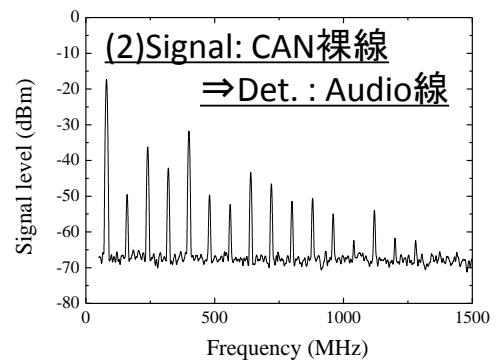
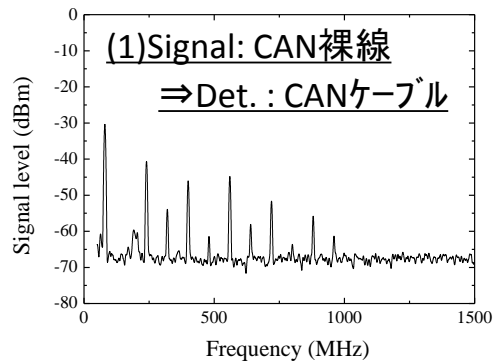


図 11 クロストークの実験結果その1

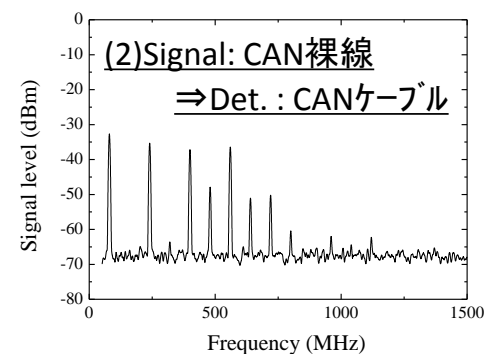
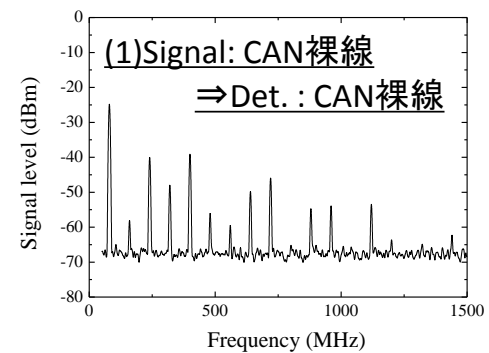


図 12 クロストークの実験結果その2

3.4 ハーネスからの放射エミッション

自動車電装機器の電磁ノイズの問題に関して、ユーザーからのクレームが多いのは、車内で使うラジオやテレビへのノイズ混入であると言われている。これらの周波数帯は、AMラジオが526 kHzから1,602 kHz、FMラジオが76 MHzから90 MHz、デジタルテレビが440 MHzから770 MHzである。これらの周波数は、携帯電話の周波数帯域(700 MHzから 2GHz)、ETC(5.8 GHz)に比べると低い周波数帯域となっているため、車載機器のノイズ対策についてはラジオ・テレビ周波数に対する電磁ノイズ遮蔽を考慮しなければいけない。ここでは、ハーネスに高周波が入り込んだ場合に生じる500 MHz以下の周波数帯域における放射エミッションについて、ハーネスを覆う形で設置する導電シールドの有効性について検討を行った結果を報告する。

図13は、3 m電波暗室でCISPR25の測定レイアウトにおいてハーネスからの放射エミッションを測定した実験装置の写真を示す。この図では、ハーネスを導電性のシールドメッシュで部分的に覆って実験した場合の測定レイアウトを示している。実験では、本測定レイアウトでハーネスの種類、導電シールドの有無について放射エミッションのデータを取得した。なお、この実験で用いたノイズ源は、前節のクロストーク実験と同じノイズ発生器を用い、アンテナは、バイコニカルアンテナを用いた。

図14は、ハーネスとしてCANケーブルを用いた場合の放射エミッションの測定結果である。ノイズ発生器からの80 MHzの通倍ノイズが発生していることがわかる。

図15は、測定されたピーク強度について、①バックグラウンド、②ハーネスを接続しないノイズ発生器のみ、③CANケーブルを接続した場合、そして④CAN裸線を接続した場合の放射エミッションの変化である。測定結果から、ハーネスを接続しないノイズ発生器のみでも一定量の放射エミッションが出ていることがわかる。また、CANケーブルとCAN裸線を接続した場合には、ハーネスからの放射で測定レベルが上がるが、500 MHz以下の周波数帯域では、CANケーブルとCAN裸線の放射レベルに大きな差が無く、この周波数帯域では、CANケーブルのシールド箱の効果が現れないことがわかる。

図16は、CAN裸線の測定において、ハーネスをアルミホイルで全体を覆った場合の放射エミッションの結果である。この場合も、図15と同様に、アルミ箔の電磁遮蔽効果がほとんど得られなかった。

図17は、CAN裸線のハーネスを部分的に導電シールドメッシュで覆った場合の実験風景を示す写真である。この実験では、1.5 mのハーネス直線部においてその一部を0.8 mのシールドメッシュ覆う実験を行った。

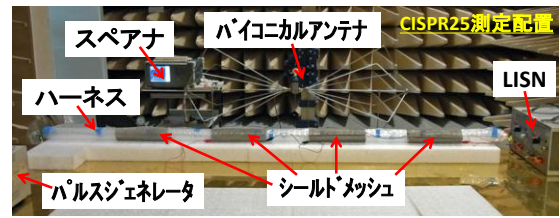


図 13 放射エミッションの実験装置

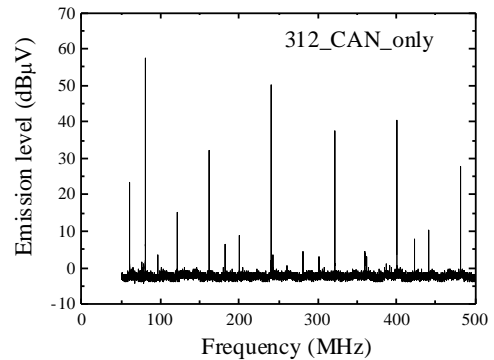


図 14 CAN ケーブルからの放射スペクトル

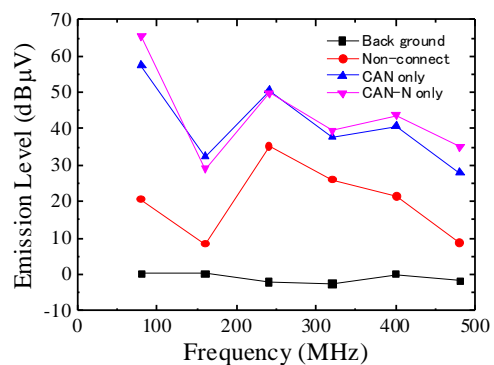


図 15 CAN と CAN 裸線の比較

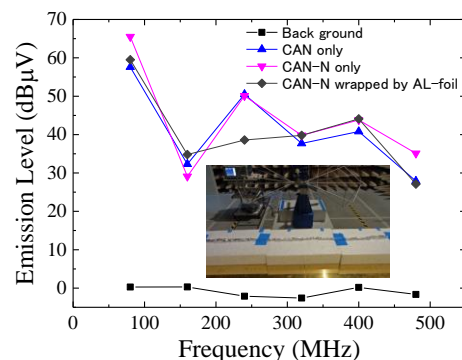


図 16 アルミ箔で覆った場合のとの比較

図18に測定結果を示す。CAN裸線にかぶせるシールドメッシュの位置によって放射レベルが変化している。この、放射レベルの変化は、周波数によっても変化しており、160 MHzでは約20 dBの差が生じているが、320 MHzでは減衰特性の大きさに逆転が生じて、400 MHzでは減衰特性の大小が再度逆転することがわかる。

この効果を考察するために、ハーネスに発生する定在波を測定した。定在波の測定方法を図19に示す。測定は、CISPR25の放射エミッション測定と同じレイアウトで、ハーネスを電流プローブに通して、電流プローブの位置を移動させながらハーネス位置をパラメータにした電流分布の測定を行った。

図20にその結果を示す。図は、周波数80 MHzと400 MHzのピークについて信号レベルの位置変化を示す実験結果である。空間波長の1/4は、各々、93.8 cm、18.8 cmであり、図の電流分布の山と谷の距離とほぼ一致する。この結果から、ハーネスには、15 dB程度の定在波が立っていることがわかった。

以上にに基づき、本節の結果を考察する。車載用ワイヤハーネスにおいて、500 MHzより低い周波数における放射エミッションについて、導体箔による遮蔽効果を検討したが、この周波数帯域においては、有効な遮蔽効果が得られなかった。銅の表皮深さは、100 MHzで6.8 μm 、400 MHzで3.4 μm であることから、20 μm 程度の銅箔では、遮蔽効果が期待できるはずであるが、今回の実験では、有効性を見出すことが出来なかった。この理由として、銅箔あるいはアルミ箔の接地点を端部側の1点しか取らなかったために、接地が不十分となりシールド銅箔が放射源になってしまった可能性がある。

一方で、ハーネスの一部分に導電シールドメッシュを適用した場合においては、シールドメッシュを配置する位置と周波数により放射エミッションの特性が変化する。配置条件によっては、放射エミッションが20 dB程度違う場合もある。この現象に関しては、原因解明にまで至っていないが、ハーネスに発生する定在波が15 dB程度観測されることから、ハーネス上に乗っている定在波と部分的なシールドメッシュの相互作用が生じたものと推測できる。

今回の実験の範囲では、ハーネスを覆う形状の箔体あるいはメッキ導体布の導電シールド材では、80 Hzから500 MHzの周波数帯域における有効なシールド効果を得ることができなかった。今後は、導体箔の接地方法の改善や、磁性体、誘電体などの電磁遮蔽に有効とされる材料について適用を検討したいと考えている。

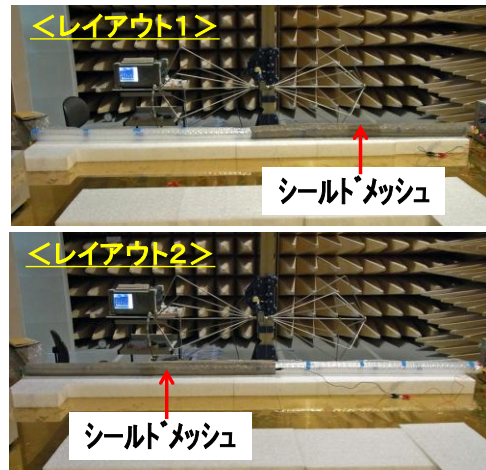


図 17 導電布で部分的に覆った場合の比較

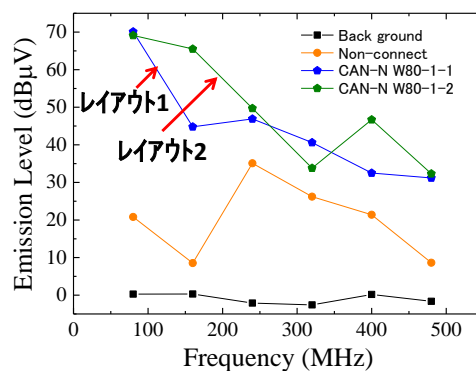


図 18 導電布位置が及ぼす効果

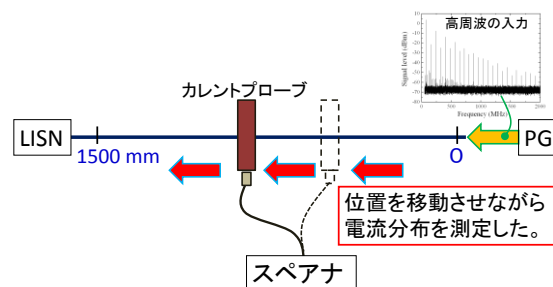


図 19 定在波の測定方法

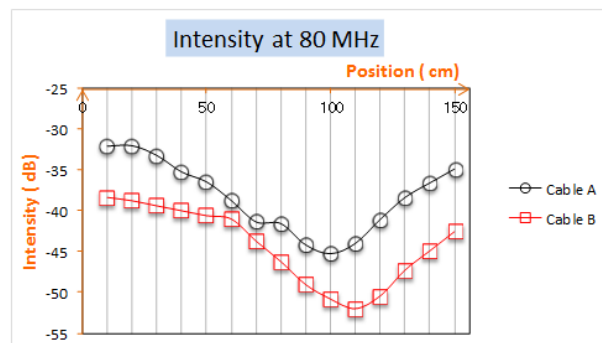


図 20(1) 80 MHz での定在波測定結果

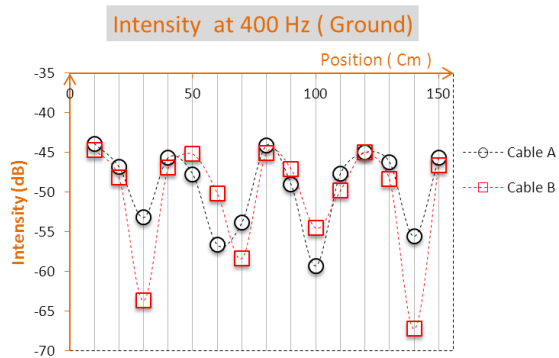


図 20(2) 400 MHz での定在波測定結果

4. 結言

車載機器に対する正確な測定技術の確立を目的として、車載機器特有の長いワイヤハーネスがEMCに与える影響について検討した。

検討は、CISPR25の放射エミッション測定配置における擬似電源回路網(以下、LISN)の効果確認を行い、さらにこれを発展させて、ハーネス間の伝導ノイズクロストークとハーネスからの電磁波放射について、ハーネスの種類やシールド材の効果について知見を得た。

鋳造合金の流動性評価技術の確立

内海 宏和・大山 礼・千代窪 毅・氏家 博輝
材料開発・分析技術部

鋳造合金の流動性を、定量的に再現性良く評価する技術を確認することを目的に研究を実施した。垂直吸引式の流動性評価装置を構築し、代表的なアルミニウム合金の流動性を再現性良く評価できることを確認した。本評価装置を用いて、溶湯性状や鋳造条件が流動性に及ぼす影響を調べた。その結果、AC7Aに微細化剤を添加すると、流動性に影響を及ぼす可能性が示唆された。さらに溶湯清浄度の影響を調べた結果、介在物が多く混入すると流動性が約40%低下することがわかった。また、吸引型を半割矩形型とすることで、塗型が流動性に及ぼす影響を定量的に評価できた。これらの検討により、本評価方法が、県内鋳造企業のプロセス改善や合金開発に活用できる技術であることが確認できた。

キーワード：鋳造、アルミニウム合金、流動性評価、微細化、溶湯清浄度、塗型

1. 緒言

鋳造部品が薄肉化、複雑化するに伴い、湯回り不良や湯境といった流動性に起因する欠陥が顕在化しやすくなる。流動性は凝固をはじめ様々な要素が絡む複雑な現象のため、流動性を向上させるには、個々の鋳造条件が流動性に及ぼす影響を定量的に評価することが重要である。既存の流動性評価として、渦巻き型を用いる方法があるが、個人差が出やすく再現性に課題がある。これに対して東北大学で考案された垂直吸引式の流動性評価方法¹⁾は、MIT式流動性評価方法を改良したもので、再現性に優れ、溶融金属の物理的性質を精度良く反映する。本研究では、鋳造合金の流動性を、定量的に再現性良く評価する技術を確認することを目的に、垂直吸引式流動性評価装置を構築し、アルミニウム合金の流動性を調べた。具体的には、5種類の代表的なアルミニウム合金の溶湯温度と流動長の関係を調べ、本装置における再現性を確認した。また、結晶粒微細化剤や溶湯清浄度などの合金性状や、塗型が流動性に及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法

図1に垂直吸引式流動性評価装置の概略を示す。合金を溶解する電気炉、吸引型を上下動させる電動スライダ、吸引圧を得るための真空ポンプと減圧タンク、吸引型と減圧タンク間の電磁バルブから構成される。溶湯は所定の温度に保持され、減圧タンクの減圧度は-5kPa～-50kPaの間で任意に設定可能である。試験をスタートすると、吸引型は溶湯に向かって垂直に降下する。吸引型を設定した深さまで溶湯内に浸漬させたら、

電磁バルブが開いて溶湯が吸い上げられ、吸引型は引き上げられる。これら一連の動作は自動で行われる。

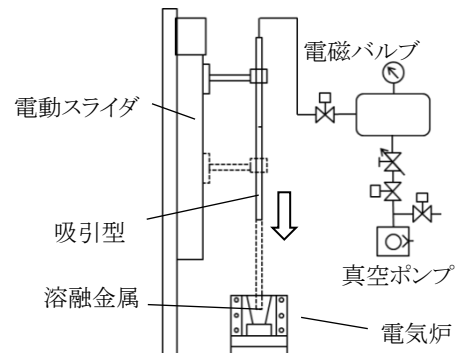


図1 垂直吸引式流動性評価装置の概要

本研究の評価項目と方法は下記の通りである。

① 代表的なアルミニウム合金の流動性評価

評価に用いた合金は、AC4C、AC4A、AC7A、AD12、AC4CのSi量を4.5%としたものの5種類である。各合金について、溶湯温度を変化させて流動長を測定した。測定回数は各温度について3回とした。吸引型は外径6mm、内径4mmのステンレス光輝管（SUS304BA）を用いた。吸引圧力は-20kPaとし、吸引型が溶湯に10mm浸漬した後、2秒間吸い上げた。流動長は試験管内に流入し凝固した長さとした。

② 結晶粒微細化剤が流動性に及ぼす影響

750℃で大気中溶解したAC7A材と、これに微細化剤をTi量が0.15%となるように添加したものを、#2黒鉛るつぼに取り分け凝固させた。微細化剤は

Al-5%Ti-1%Bを用いた。これらの合金を再溶解し、流動長を測定した。吸引型、吸引圧力、浸漬深さは①と同様とした。実験は溶湯温度の高い側から実施し、順次引き下げた。この間、溶湯処理、攪拌は行わず、吸引直前に溶湯表面の酸化膜を軽く除去するのみにとどめた。また、微細化剤を添加した溶湯について、吸引管内で凝固したサンプルのTi量を測定した。測定は、誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP-OES)を用いた。

③ 溶湯清浄度が流動性に及ぼす影響

AC7A材について、インゴット溶解直後、溶湯処理後、介在物を多量に含む溶湯のそれぞれについて流動長を測定した。溶湯処理は、Arガスを溶湯内に0.05MPa、0.5cc/minで約5分間攪拌しながら吹き込んだ後、浮上した酸化物を除去した。介在物を多量に含んだ溶湯は、アルミニウムの切粉を多量に添加することによって得た。吸引型、吸引圧力、浸漬深さは①と同様とした。溶湯温度は730℃とした。それぞれの溶湯について減圧凝固試験、Kモールド試験を実施した。吸引したサンプルの断面を、マイクロフォーカスX線CT装置で観察した。

④ 塗型が流動性に及ぼす影響

吸引型として半割矩形型 (材質SUS304, キャビティサイズ20mm×4mm)を用いた。図2に使用した矩形型を示す。塗型剤は、金型重力铸造において鑄型の製品面に使用される市販品を2種類用意した。塗型は、矩形型を200℃に昇温し、塗型剤を所定の希釈率で薄めてスプレー塗布した。塗型しない場合と、2種類の塗型剤をそれぞれ単独で塗布した場合について、流動長を測定した。合金はAD12とし、溶湯温度は650℃、吸引圧力は-5kPa、浸漬深さは10mmとした。

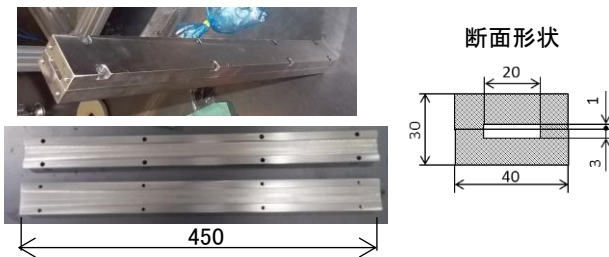


図2 半割矩形型

3. 実験結果及び考察

3.1 代表的なアルミニウム合金の流動性評価結果

図3に、代表的なアルミニウム合金の溶湯温度と流動長の関係を示す。いずれの合金についても、溶湯温度と流動長は直線の関係であり、そのばらつきは $R^2=0.96$

～0.98と極めて小さい。また、AC4Cの2種類、AC4AはSi量が微妙に異なるが、組成の差が誤差に埋もれない高い精度の結果を得ることができた。これより、垂直吸引式の流動性評価方法は、アルミニウム合金の流動性を再現性良く評価できることが示された。

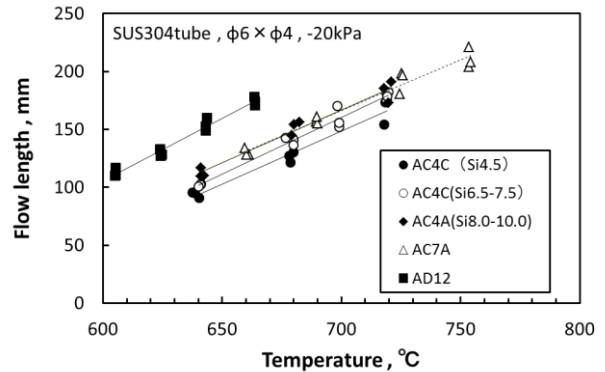


図3 アルミニウム合金の流動長測定結果

3.2 結晶粒微細化剤が流動性に及ぼす影響

図4に、微細化剤を添加していない溶湯と、微細化剤を添加した溶湯の温度と流動長の関係を示す。いずれの溶湯についても、溶湯温度と流動長は直線的な関係であった。溶解直後の溶湯温度約750℃では、微細化剤を添加した溶湯の流動長が、微細化剤を添加していない溶湯に比べて約10%低下したものの、溶湯温度が低下するに従い流動長の差は小さくなった。図3中に、微細化剤を添加した溶湯を吸い上げたサンプルに含まれるTi量を合わせて示した。流動長の測定は高温側から実施したが、その順番にTi量が少なくなる傾向であった。これは、時間が経つにつれ微細化剤が沈降したためと考えられる。図4に示す結果から、微細化剤添加が流動性に影響を及ぼす可能性が示唆された。今後は、溶湯温度を一定にし、Ti量と流動長の関係を調べることで、微細化剤が流動性に及ぼす影響を明らかにできると考えられる。

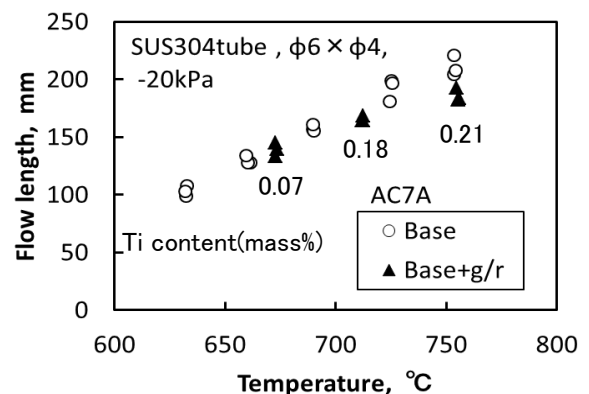


図4 結晶粒微細化剤の添加が流動性に及ぼす影響

3.3 溶湯清浄度が流動性に及ぼす影響

図5に、流動性を評価した溶湯の減圧凝固試験片のX線CTによる断層像と、Kモールド法により測定したK値を示す。インゴット溶解直後はガスが多量に含まれた状態であり、K値も高い。溶湯処理後はガス、介在物ともに少なくなった。アルミニウムの切粉を多量に添加した溶湯は、ガス量、介在物ともに多い溶湯となった。図6に、上記3種類の溶湯について流動長を測定した結果を示す。インゴット溶解直後と溶湯処理後では、差は認められなかったが、介在物が多量に含まれた溶湯は、他の溶湯より約40%流動長が低下した。図7に、吸引したサンプルのX線CTによる断層像を示す。流動長が大きく減少したサンプルのみ吸い上げた先端の形状が凸状となった。先端の形状は流動停止機構を表す²⁾ことから、介在物が多量に含まれることで、流動停止機構が流路閉塞型から先端凝固型に変化し、このため流動長が低下したものと考えられる。

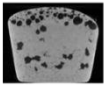
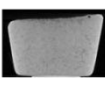
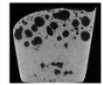
	A	B	C
溶湯品質	溶解直後	清浄化	介在物多
減圧凝固			
K値	7.6	1.8	11.6

図5 流動性評価に供した溶湯の清浄度

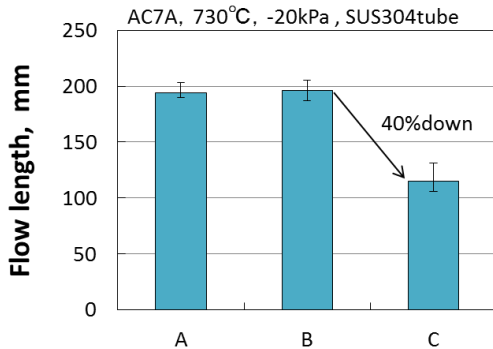


図6 溶湯清浄度が流動性に及ぼす影響

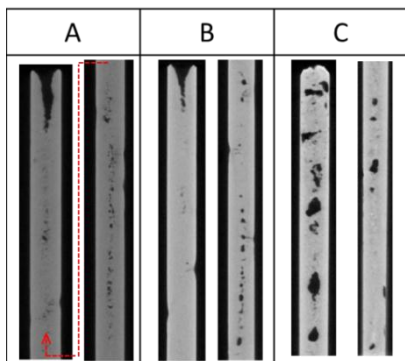


図7 吸い上げサンプルのX線CT像

3.4 塗型が流動性に及ぼす影響

図8に、塗型剤を塗布していない吸引型と、2種類の塗型剤をそれぞれ単独で塗布した吸引型で流動長を測定した結果を示す。図9に、吸い上げたサンプルの外観を示す。塗型により約2倍まで流動長が伸びた。これは、塗型により断熱性が向上したためと考えられる。塗型剤A,Bの比較では、流動長に差は無いが、塗型剤Bの方が、先端までキャビティ全体が充填された。この差は塗型剤に含まれる骨材の違いや、膜厚の違いによる影響と推測される。なお、塗型剤Aは厚い膜を得やすい傾向にあり、膜厚が約150 μmであったのに対して、塗型剤Bの膜厚は約40 μmであった。

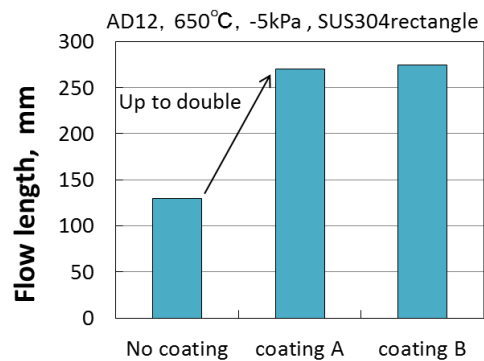


図8 塗型剤有無が流動性に及ぼす影響

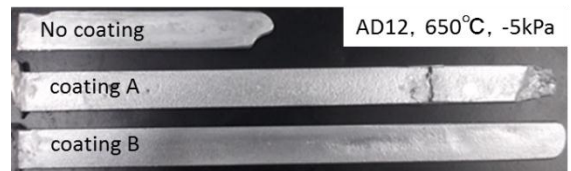


図9 吸い上げサンプルの外観

4. 結言

本研究により、以下のことが明らかになった。

- (1) 構築した垂直吸引式流動性評価装置で、アルミニウム合金の流動性を定量的に再現性良く評価できることがわかった。
- (2) 微細化剤の添加が流動性に影響を及ぼす可能性が示唆された。
- (3) 溶湯清浄度の影響を調べた結果、介在物が多く混入すると流動性が40%低下することがわかった。
- (4) 吸引型を半割矩形型とすることで、塗型が流動性に及ぼす影響を定量的に評価できた。

参考文献

- 1) 平塚貞人, 新山英輔, 堀江皓, 中村満, 小錦利憲: 鑄造工学, 64, (1992), 853-858
- 2) K.R.Ravi, R.M.Pillai, K.R.Amaranathan, B.C.Pai, M.Chakraborty, J.alloys.compd, 456, (2008), 201-21

ホットエンボスによる微小二面コーナーリフレクタアレイの成形技術の開発

家口 心*1 ・ 阿部 宏之*2 ・ 石井 克治*2

*1 自動車産業支援部 ・ *2 機械電子情報技術部

微小二面コーナーリフレクタアレイは「浮き出すディスプレイ」の実現が可能な新しい光学素子である。本素子の量産を可能とすべく、ナイフエッジ型ダイヤモンドブレードを用いた耐熱金型(非晶質カーボン製, SiC 製)の精密溝研削技術と、ホットエンボスによる低融点ガラスへの高アスペクト微細形状転写技術の開発を行った。本開発により、金型へほぼチップングのない鋭角溝を形成する溝研削には成功したが、ガラスの割れを発生させることなく金型の溝最深部までガラスを充填させる形状転写は達成できなかった。一方、金型の溝研削技術をガラスの研削に応用し、ガラスの直接溝研削による本素子の試作を行った結果、浮遊像の映出に成功した。

キーワード: 微小二面コーナーリフレクタアレイ, 研削, 溝加工, ホットエンボス, ガラス, 非晶質カーボン, 無気孔SiC

1. 緒言

微小二面コーナーリフレクタアレイは「浮き出すディスプレイ」の実現が可能な新しい光学素子であり、スクリーンレスのテレビやプロジェクタ, 車載ディスプレイ, デジタルサイネージ等への応用が期待されている^{1)~4)}。しかし、その製造技術が確立されていないため、现阶段において普及には至っていない。そこで、本研究では、本素子の量産化を目指し、ホットエンボスによるガラスの成形技術を用いた本素子の製造技術の開発を行った。

2. 微小二面コーナーリフレクタアレイと本研究の概要

微小二面コーナーリフレクタアレイは、一辺が数百 μm の直交する一対の反射面(コーナーリフレクタ)を平面上に無数に配置することにより実現できる。図1にガラスのホットエンボスによる微小二面コーナーリフレクタアレイの作製方法の模式図を示す。本研究では、垂直面と傾斜面からなるナイフエッジ型のダイヤモンドブレード⁵⁾を用いた溝研削により、微小なV溝(正確にはレ型の溝)が格子状に加工された金型を作製し、この金型形状をホットエンボスにより低融点ガラスへ転写することにより本素子の成形を試みる。図2にガラスのホットエンボスにより成形されるガラス製微小二面コーナーリフレクタアレイの機能と微細パターンの模式図を示す。成形されたガラスには、直交する一対の微細な平坦面(コーナーリフレクタ)が無数に形成されるため、微小二面コーナーリフレクタアレイとして機能することが予想される。微小二面コーナーリフレクタアレイの下方に配置された対象物の表面において反射する散乱光線はコーナーリフレク

タにおいて二回反射し、本素子に対して上下対称の位置に到達する。無数の散乱光線群は各コーナーリフレ

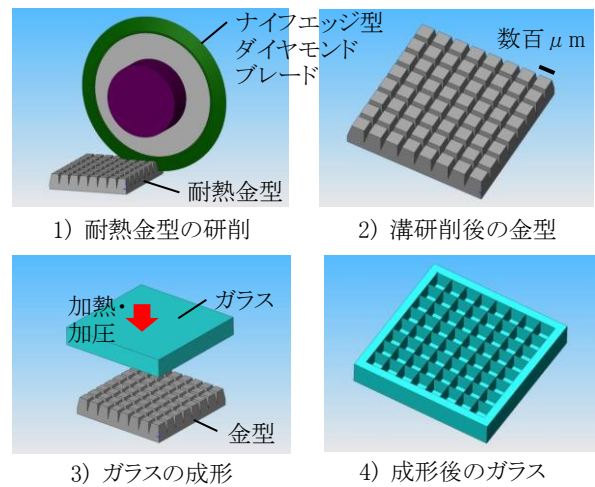


図1. ガラスのホットエンボスによる微小二面コーナーリフレクタアレイの作製方法の模式図

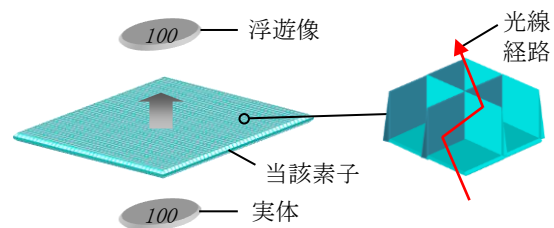


図2. ガラスのホットエンボスにより成形される微小二面コーナーリフレクタアレイの機能と微細パターンの模式図

クタにおいて同様に二回反射するため、その結果として素子の上方に浮遊像が結像する。

3. 光線追跡シミュレーションによる格子間隔の設定

3-1 解析モデルの設定

金型の溝研削に先立ち、金型に加工する格子溝の間隔を決定するため、市販の光線追跡シミュレータ (ZEMAX IE) を用いて格子間隔 (反射面寸法) と解像度の関係の導出を行った。図3に解析モデルの例を示す。また、表1に解析条件を示す。屈折率1の仮想三次元空間上に0.1~1.0mmの各種反射面寸法のコーナーリフレクタアレイを簡易的なモデル (アスペクト比1で厚みゼロの直交する反射面で構成) で設定した。素子の高さは格子間隔と同一である。素子の総面積はいずれも約50×50mmとした (反射面寸法に伴い格子総数は異なる)。素子の45mm下方に配置した点光源から、45°の傾斜角度、28°の円錐角度で素子に対して100万本の散乱光線を照射し、それらの光線群が素子を通過後に素子に対して上下対称となる位置に配置したディテクタ (10×10mm) 上でどの程度集光するかを計算した。

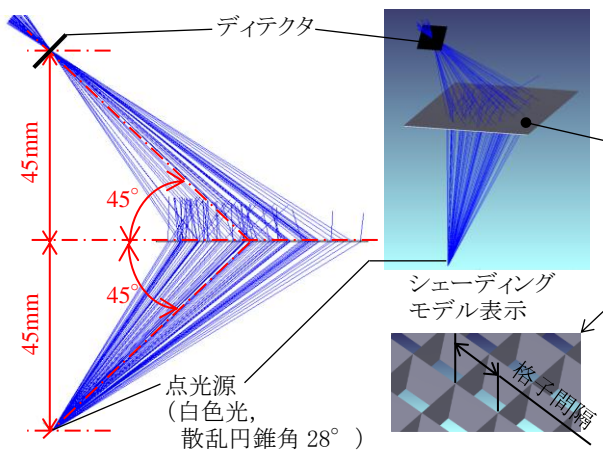


図3. 微小二面コーナーリフレクタアレイの光線追跡シミュレーションの模式図

表1. 光線追跡シミュレーションの解析条件

シミュレータ	ZEMAX IE
点光源	光線数: 100 万本 光源色: D65 white
コーナーリフレクタアレイ面積	50×50mm (格子間隔により総アレイ数は異なる)
コーナーリフレクタユニット	反射特性: 反射性 反射面寸法 (mm): 0.1×0.1, 0.2×0.2, 0.3×0.3, 0.4×0.4, 0.5×0.5, 1.0×1.0 反射面厚さ: 0mm
ディテクタ	面積: 10×10mm ピクセル数: 400×400pixel

3-2 シミュレーションの結果

図4に各種反射面寸法における、ディテクタ上での集光スポット像を示す。この図より集光スポットの大きさは反射面寸法が大きいほど大きくなるのが分かる。図5に各種反射面寸法の場合における放射強度を示す。この図より反射面寸法が小さいほど、放射強度のピークは急峻となり、放射強度の最大値も大きくなるのが分かる。図6に格子間隔と半値幅、および半値幅を元に算出した解像度の関係を示す。格子間隔と半値幅はほぼ比例関係にあることが分かる。従って格子間隔と解像度は反

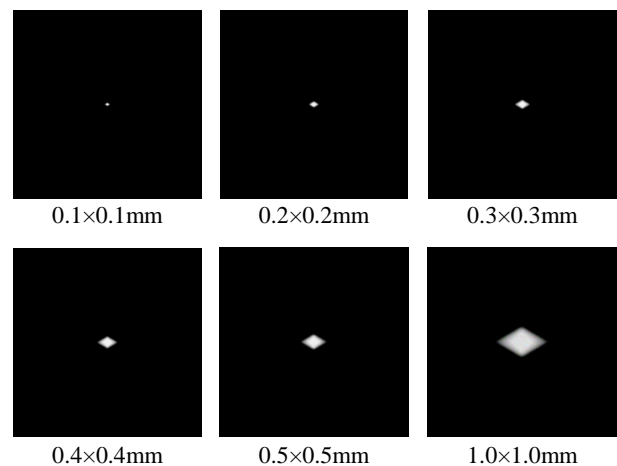


図4. 各種反射面寸法のコーナーリフレクタアレイを通過した光線のディテクタにおける集光スポット像 (ディテクタ面積 10×10mm)

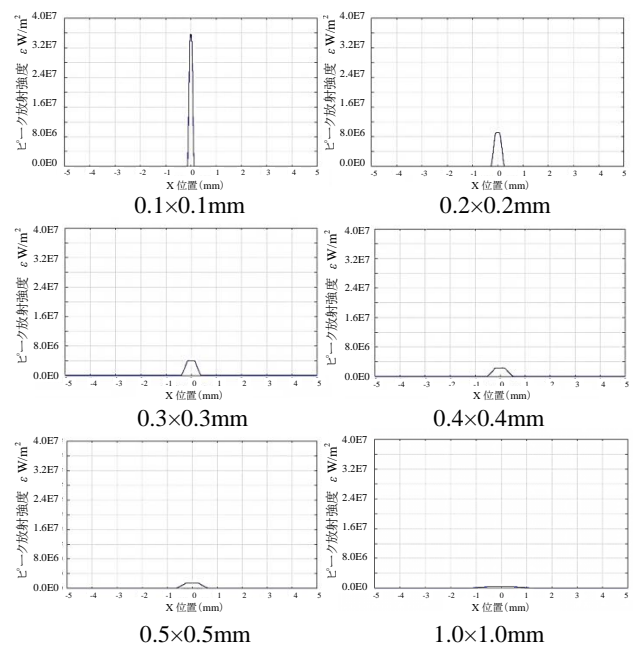


図5. 各種反射面寸法のコーナーリフレクタアレイを通過した光線のディテクタにおけるピーク放射強度

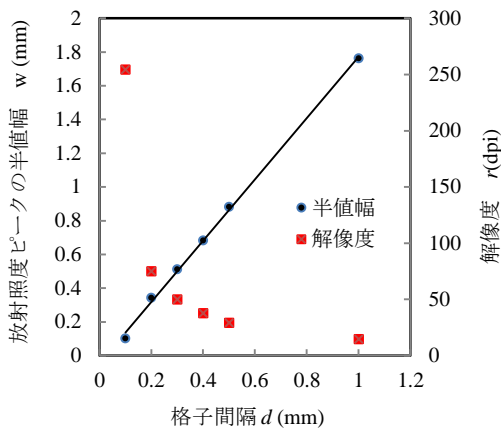


図6. 格子間隔とピーク放射照度の半値幅(解像度)の関係

比例の関係となり、格子間隔が0.2 mmの場合に、従来のCRTディスプレイの解像度(70~100dpi)に相当する75dpiとなることが分かった。加工する格子間隔が小さいほど解像度は向上するが、金型の加工時間は長くなる。本開発では、光学シミュレーションの結果からCRTディスプレイに相当する解像度が得られると想定される0.2mmの間隔で金型の溝加工を行うこととした。

4. 金型の研削

4-1 金型の平面研削

金型の溝加工を行う前に、溝加工面の平面研削を行った。研削条件を表2に示す。耐熱性を考慮し、金型の材質には非晶質カーボンと無気孔 SiC を用いた。研削方式はトラバース送りの横軸平面研削である。外周部の縁ダレを防止するためビトリファイドボンドダイヤモンド砥石を用いて予備仕上げを行った後、極微粒のレジノイドボンドダイヤモンド砥石を用いて鏡面仕上げを行った⁶⁾。

表3に平面研削後の非晶質カーボン金型と無気孔 SiC 金型の外観と研削面の平面度および粗さの測定結果を示す。平面研削の結果、非晶質カーボン型に関しては $0.49 \mu\text{mPV}$ の平面度と 4.7nmRa , 26.8nmRz の粗さ、無気孔 SiC 型に関しては $0.60 \mu\text{mPV}$ の平面度と 1.8nmRa , 10.6nmRz の粗さで鏡面に仕上げることができた。なお、粗さについては、非接触三次元表面粗さ測定機(Talysurf CCI6000, AMETEK TAYLOR HOBSON, 白色光干渉式)により、平面度に関しては、非接触三次元平面度測定機(RTI4100, WYCO, ヘリウムネオンレーザ干渉式)により測定した。

4-2 ナイフエッジ型ダイヤモンドブレードのツルーイング・ドレッシング

金型の溝加工に使用するブレードは加工前に機上

表2. 金型の平面研削条件

研削方式	横軸平面研削方式(トラバース研削)
研削盤	超精密成形平面研削盤(SGM-52E2, ナガセインテグレックス)
金型材質	非晶質カーボン(GC20SS, 東海カーボン), 無気孔 SiC(ソリッド SiC, 東海カーボン)
金型寸法	30×30mm - t3mm
予仕上げ砥石	SD2000V (ϕ 200mm - t10mm, ニートレックス) ※GC1000 ブロックによる目立て
仕上げ砥石	SD12000B (ϕ 200mm - t8mm, 東京ダイヤモンド工具製作所) ※SUS304 ブロックによる目立て
砥石周速	600m/min
テーブル速度	12m/min
研削液	ケミカルソリューションタイプ (AF-T, ノリタケカンパニーリミテド)

表3. 非晶質カーボン金型と無気孔 SiC 金型の平面研削の結果

	非晶質カーボン金型	無気孔 SiC 金型
外観		
平面度		
粗さ		

でナイフエッジ形状に成形しながら目立てする必要がある。図7にブレードのツルーイング・ドレッシング方法の模式図を示す。また、表4にツルーイング・ドレッシング条件を示す。30×30mmの面全体に0.2mm間隔で格子溝を加工する場合、総加工長は約9mに達する。ブレード先端部の鈍化を抑制するため、ブレードのボンド材にはレジノイドボンドと比較して耐摩耗性に優れたメタルボンドを用いた。ナイフエッジ型ブレードの先端の断面形状は平坦面と 18° 傾斜面で構成される。GC600のロール型砥石を設置したロータリードレッサに対して、ブレードが砥粒層の断面形状に倣いながら相対移動する

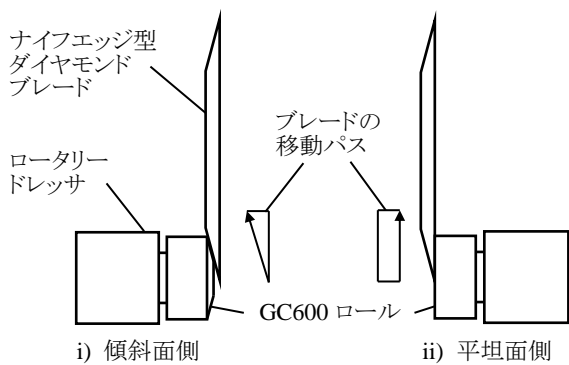


図7. ナイフエッジ型ダイヤモンドブレードのツールイング・ドレッシング方法の模式図

表4. ブレードのツールイング・ドレッシング条件

ブレード先端	ナイフエッジ型(平坦面 +18度傾斜面)
ドレッサ	小型縦型ロータリードレッサ (V40, オオタ)
ドレッシング砥石	GC600 ロール(φ48mm)
ブレード周速	800m/min
ドレッサ周速	400m/min (ブレードに対して反連れ回り方向)
切込み深さ	1μm/パス(ブレードの回転軸方向)
送り速度	50mm/min(同時二軸制御)
研削液	ケミカルソリューションタイプ (AF-T, ノリタケカンパニーリミテド)

表5. 金型の溝研削条件

溝加工方式	クリーブフィード研削
加工装置	マイクロスライサ (SPG-150, ナガセインテグレックス)
ブレード仕様	SD1500M (φ120mm - t1mm, 東京ダイヤモンド工具製作所)
ブレード先端	ナイフエッジ型(平坦面 +18度傾斜面)
砥石周速	1500m/min
送り速度	5mm/min
溝間隔	200μm
溝深さ	200μm (1パス/溝)
研削液	ケミカルソリューションタイプ (AF-T, ノリタケカンパニーリミテド)

ように加工機を同時二軸制御で動作させ、ブレードのツールイング・ドレッシングを行った。

4-3 金型の溝研削

表5に金型の溝加工条件を示す。加工方式には各溝を低送り速度の単一パスで加工するクリーブフィード研削法を採用した。金型の90°位置決めは加工装置に付属のインデックステーブルにより行った。

図8に溝研削後の金型の外観と溝加工面のSEM観察像を示す。ナイフエッジ形状のブレードを用いて格子状に溝加工を行ったことにより、角柱状の突起が無数に形成されていることが分かる。溝周囲においてチップ

表6. 非晶質カーボン金型と無気孔 SiC 金型の溝加工の結果

	非晶質カーボン	無気孔 SiC
外観		
SEM観察像		

グ等の欠陥は、ほぼ確認されなかった。

5. ホットエンボスによる低融点ガラスの成形

5-1 低融点ガラスの成形方法

溝研削後の非晶質カーボン金型を用いて低融点ガラスの成形実験を行った。成形には熱ナノインプリント装置(Reprina T-50, オリジン電気)を使用した⁷⁾。図8に使用した成形装置の外観、および装置全体と真空チャンバ周囲の構成の模式図を示す。また、表7に成形条件を示す。低融点ガラス板(40×40mm - t0.6mm, K-PG325, 住田光学ガラス)の上方にV溝金型を、表2の平面研削条件と同一条件で加工した非晶質カーボンの平坦金型(50×50mm - t3mm)を下方に配置し、それらを上下の治具間に配置してチャンバを密閉した。その後、金型の酸化防止とガラスへの形状転写性の向上を目的としてスクロールポンプによりチャンバ内を真空に脱気し、上下治具が固定されているヒータブロックに内挿されたカートリッジヒータにより、設定した成形温度まで昇温した。加熱時の温度はヒータブロックに設置した熱電対により計測される。成形温度に到達後、金型およびガラスの均熱化を目的として600s保持してから、金型およびガラスに対し上下方向から設定した荷重を負荷した。加圧時の荷重値は上部プレートの下側に配置したロードセルにより計測され、設定した成形時間が経過するまで荷重および温度は一定に保持される。ガラスの成形に影響を及ぼす三大条件は温度と荷重と加圧時間である。今回使用した低融点ガラスの屈服点は310°Cであるが、温度の測定位置であるヒータブロック部と金型との温度差を考慮し、屈服点を35~40°C上回る345~350°Cを成形温度として設定した。荷重は150~200N

(V 溝金型の投影面積で除した成形圧力は 167～222kPa)とし、加圧時間は 1200～1800s とした。

5-2 低融点ガラスの成形結果

図 9 に各条件で成形したガラスの外観と成形部の SEM 観察像を示す。345°C-150N-1200s の条件で成形

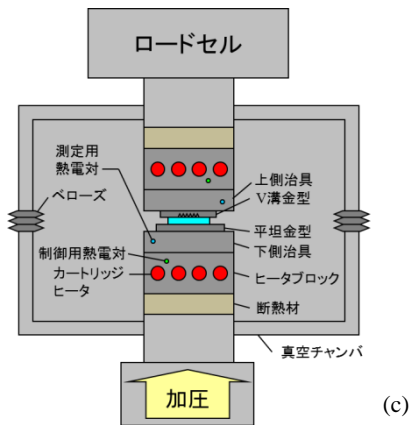
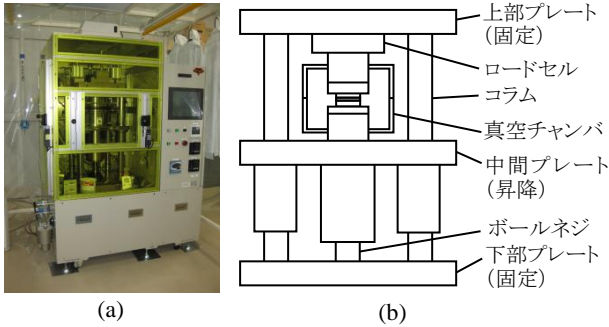


図8. 成形装置の外観(a), および装置全体の構成(b)と真空チャンバ周囲の構成(c)の模式図

したサンプル以外は、いずれのサンプルも割れが発生した。今回検討した条件では、割れの発生したサンプルも含め、ガラスは金型の最深部まで到達できていない。なお、345°C-150N-1200s の条件で成形した割れの発生していないガラス基板を用いて浮遊像の有無を確認したが、浮遊像は確認されなかった。本素子の量産化を実現するため、今後も、割れを発生させずに転写性の良い成形を可能とするガラス成形技術の開発を進める必要がある。

6. ガラスの直接研削による素子の試作

6-1 ガラスの研削方法

開発したナイフエッジ型ダイヤモンドブレードによる金型の溝研削技術を応用し、ガラスの直接溝研削による微小二面コーナリフレクタアレイの試作を行った。図 10 にガラスの直接溝研削により作製される微小二面コーナリフレクタアレイの模式図を示す。ガラスの屈折

表7. ガラスの成形条件

成形装置	熱ナノインプリント装置 (Reprina T-50, オリジン電気)
ガラス材質	低融点ガラス (K-PG325, 住田光学ガラス)
ガラス寸法	40×40mm - t0.6mm
金型材質	非晶質カーボン
金型寸法	V 溝金型 (上型) : 30×30mm - t3mm 平坦金型 (下型) : 50×50mm - t3mm
成形温度	345°C, 350°C
成形荷重	150N (167kPa), 200N (222kPa)
加圧時間	1200s, 1800s

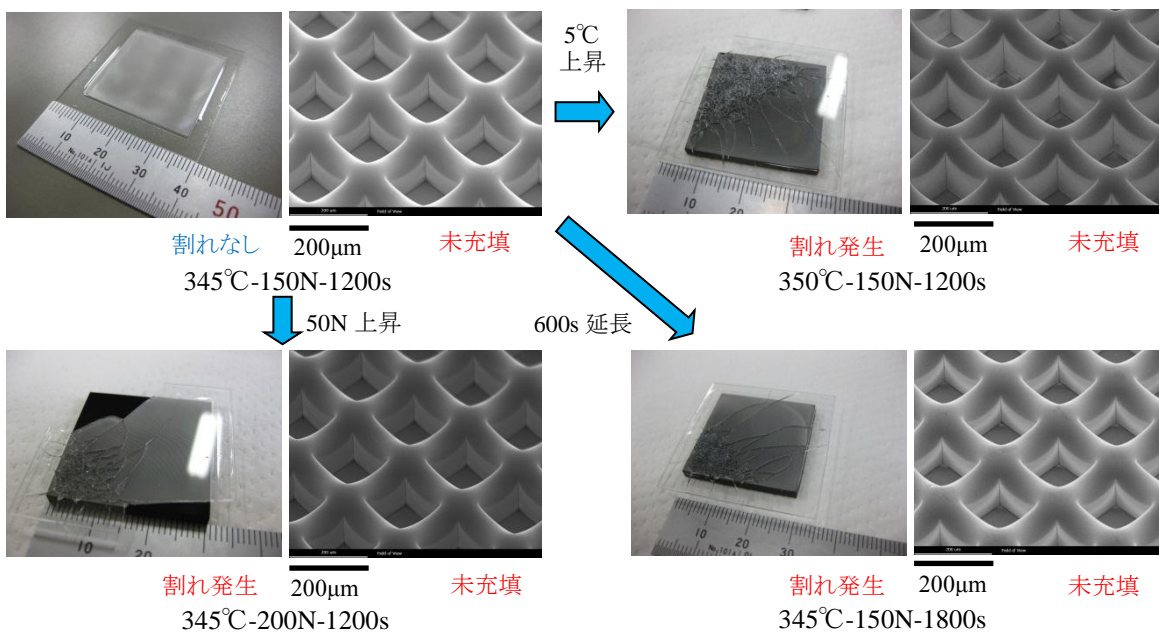


図9. 各条件で成形したガラスの外観と成形部の SEM 観察像

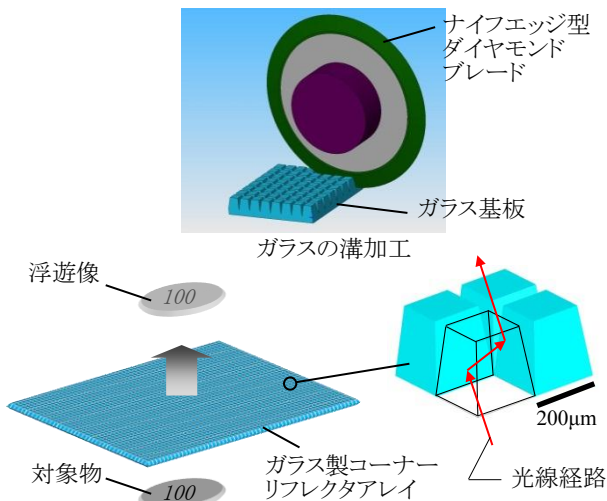


図10. ガラスの直接溝研削により作製される微小二面コーナーリフレクタアレイの模式図

表8. ガラスの溝研削条件

溝加工方式	クリープフィード研削
ガラス材質	BK7(50×50mm - t0.5mm)
加工装置	マイクロサイヤ (SPG-150, ナガセインテグレックス)
ブレード仕様	粗:SD1500M, 仕上:SD3000M (東京ダイヤモンド工具製作所)
ブレード寸法	φ120mm - t1mm
ブレード先端	ナイフエッジ型(平坦面 + 18度傾斜面)
砥石周速	1500m/min
送り速度	5mm/min
溝間隔	200μm
溝深さ	200μm (1パス/溝)
研削液	ケミカルソリューションタイプ (AF-T, ノリタケカンパニーリミテド)

率は空気よりも大きいことから、溝研削によって形成されるガラスの壁面がガラス内部を通過する光線に対してコーナーリフレクタとして機能する可能性がある。表8にガラスの溝研削条件を示す。金型の溝加工条件とほぼ同様の条件で50×50mm-t0.5mmのBK7板に対しダイヤモンドブレードを用いたクリープフィード研削により溝加工を行った。SD1500Mブレードによる溝研削後、SD3000Mブレードで同一パスを通過させ溝壁面の仕上げを行った。ガラスの溝研削に用いたブレードも金型の溝研削に用いたブレードと同様の方法で溝研削前にツルーイング・ドレッシングを行った。仕上げ用パスの位置決めは、仕上げ用ブレードを用いてダミーカットした溝と粗研削時の溝との相対位置を光学カメラで確認することにより行った。

6-2 反射膜の成膜

ガラスの屈折率は空気よりも大きいため、光線はガラス

表9. 反射膜の成膜条件

成膜装置	スパッタ装置 (CFS-4ES(S), 芝浦メカトロニクス)
成膜方式	サイドスパッタリング
雰囲気	アルゴンガス(0.5 Pa)
ターゲット材料	純アルミニウム(99.99%)
高周波電力	300 W
膜厚	400 nm

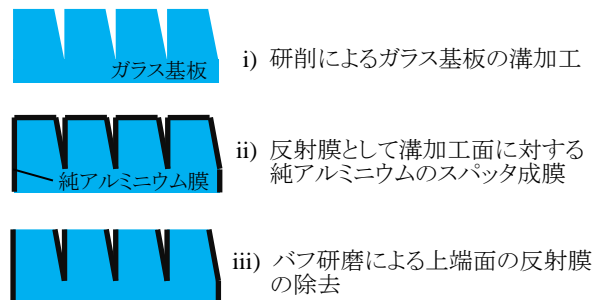


図11. 直接溝加工によるガラス製微小二面コーナーリフレクタアレイの作製プロセス

の溝壁面において高確率で全反射すると推測したが、溝加工したままの状態では浮遊像は確認されなかった。そこで、ガラス板の溝加工面全体に、反射率が可視光領域で高く、反射率の波長依存性が少ない純アルミニウムを反射膜としてスパッタ成膜した。表9に成膜条件を示す。なお、ガラスの上端面においては光線を透過する必要があるため、粒径約1 μmのダイヤモンドスラリーを用いたバフ研磨により、上端面の反射膜のみ除去した。開発した一連の作製プロセスを図11に示す。

6-3 ガラスの研削結果と浮遊像の映出

図12にガラスの溝加工部のSEM観察像を示す。ナイフエッジ形状のブレードを用いて格子状に溝加工を行ったことにより、ガラス表面に角柱状の突起が無数に形成されていることが分かる。

図13に作製した光学素子を用いて浮遊像を映出している様子を示す。若干鮮明さに欠けるものの、素子の下方に配置した対象物(100円玉)の浮遊像が素子の上方に映出されていることが分かる。日常の照明環境下では、対象物が光沢物であっても浮遊像は確認されなかった。しかし、室照度を低下させると共にハロゲンランプを用いてその対象物に白色光を照射し、周囲と比較して対象物表面の散乱輝度を増加させることによって浮遊像を確認することができた。今後、溝の加工品質(粗さ、平面度、直角度等)を高めると共に、上端面を除く溝壁面にのみ反射膜を成膜する技術を開発することにより、日常的な照明環境下でも鮮明な浮遊像を映出できる素子の実現を目指す。

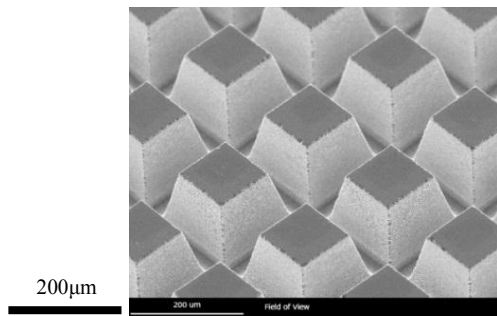


図12. ガラス基板の溝加工面のSEM観察像

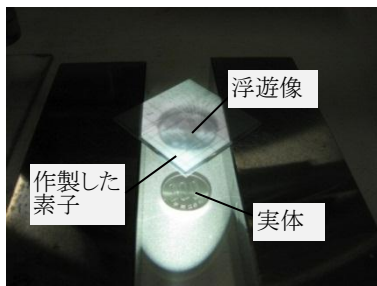


図13. 作製したガラス製微小二面コーナリフレクタレイによる浮遊像の映出

7. 結言

- 1) 非晶質カーボン、無気孔SiCを被削材として、研削により、上端面が鏡面でチップングのない鋭角V溝を有する金型を作製する技術を開発した。
- 2) 研削した金型を用い、ホットエンボスによる低融点ガラスの成形を試みたが、コーナリフレクタレイの成形は達成できなかった。
- 3) 開発した金型の溝研削技術を応用してガラスの直接溝研削を行い、浮遊像の映出に成功した。

8. 今後の展開

本研究を行うことにより、ガラスの直接溝研削によって微小二面コーナリフレクタレイを作製できる可能性を示すことができた。しかし量産化を実現するためには、微小二面コーナリフレクタレイの成形を可能にする必要がある。本研究では鋭角 V 溝金型の研削には成功したものの、ホットエンボスにより金型の形状を完全にガラスへ転写することができなかった。今後はガラスのホットエンボスによるコーナリフレクタレイの成形技術の開発を継続し、本光学素子の量産化を目指す。

謝辞

本研究開発は、(独)科学技術振興機構 平成24年度研究成果展開事業 復興促進プログラム 探索タイプの助成により実施したものである。

参考文献

- 1) S Maekawa, K Nitta, and O Matoba, "Transmissive Mirror Device with Micro Dihedral Corner Reflector Array - The Mirror Forming A Real Image -", ITE Journal, **30** (2006), 49-52 (in Japanese).
- 2) Japan Patent, 2011-191404A.
- 3) Japan Patent, 2012-45871A.
- 4) Japan Patent, 2012-118095A.
- 5) Y. Yamamoto, H. Suzuki, T. Moriwaki, T. Okino and T. Higuchi, "Precision Grinding of Micro Fresnel Lens Molding Die (2nd Report)", J. JSPE, **73-6** (2007), 688-692 (in Japanese).
- 6) Shin Kaguchi, Yoshifumi Saito, Tetsuya Hisada: Development of High Precision Grinding Technology of Reaction Sintered Silicon Carbide, Proc. ABTEC 2007, (2007) 55 (in Japanese).
- 7) Hajime Kaburaki, Masami Kuroda: Thermal Nanoimprint System for Reserch and Development, Reprina-T50, Origin Tech. J., **71-II** (2008) 8 (in Japanese).

平成25年度

宮城県産業技術総合センター研究報告 No.11(2013)

平成26年7月発行

発行所

宮城県産業技術総合センター

〒981-3206

宮城県仙台市泉区明通二丁目2番地

TEL 022-(377)-8700

FAX 022-(377)-8712
