

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「Steel Heater 性能向上のための新規絶縁層形成技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 経済産業省中部経済産業局
補助事業者 公益財団法人名古屋産業科学研究所

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD積層絶縁層形成技術の開発】

1-1-1-1 【1-1. ガラス／AD積層絶縁層の開発】

1-1-1-2 【1-2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD積層絶縁層の開発】

1-1-2 【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】

1-1-2-1 【2-1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】

1-1-2-2 【2-2. 大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】

1-1-2-3 【2-3. 大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

1-1-3 【3. 新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】

1-1-3-1 【3-1. ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】

1-1-3-2 【3-2. 新 Steel Heater のヒーター特性評価】

1-1-3-3 【3-3. 新 Steel Heater の量産化への対応】

1-2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1-3 成果概要

1-3-1 【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD積層絶縁層形成技術の開発】

1-3-1-1 【1-1. ガラス／AD積層絶縁層の開発】

1-3-1-2 【1-2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD積層絶縁層の開発】

- 1－3【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】
 - 1－3－【2－1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】
 - 1－3－【2－2. 大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】
 - 1－3－【2－3. 大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

- 1－3－【3. 新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】
 - 1－3－【3－1. ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】
 - 1－3－【3－2. 新 Steel Heater のヒーター特性評価】
 - 1－3－【3－3. 新 Steel Heater の量産化への対応】

1－4 当該研究開発の連絡窓口

本論

- 2－【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD積層絶縁層形成技術の開発】
 - 2－【1－1. ガラス／AD積層絶縁層の開発】
 - 2－【1－2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD積層絶縁層の開発】

- 2－【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】
 - 2－【2－1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】
 - 2－【2－2. 大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】
 - 2－【2－3. 大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

- 2－【3. 新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】
 - 2－【3－1. ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】
 - 2－【3－2. 新 Steel Heater のヒーター特性評価】
 - 2－【3－3. 新 Steel Heater の量産化への対応】

最終章 全体総括

3-1 研究成果の総括

3-2 事業化について

3-2-【1. 定着ヒーター】

3-2-【2. 大型 Steel Heater】

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

高度化指針の該当項目は次の通り。

（七）表面処理に係る技術に関する事項

1 表面処理に係る技術において達成すべき高度化目標

（4）川下分野特有の事項

4）その他の川下分野に関する事項

b. 情報通信・エレクトロニクス分野に関する事項

①川下製造業者特有の課題及びニーズ

力. 高付加価値化・特殊機能性の付与

本研究では、オフィス用カラープリンター・コピー機に使用される美鈴工業製 Steel Heater（定着ヒーター）の性能向上を目的とする開発研究を行い、この分野における売上増加を図ると共に、他分野への売り込みを図る事業化を提案する。プリンターの内部構造は、4種類のトナーが並び、コピー用紙の上の転写されたトナー粉末はそのままの状態ですべて定着ロール内を通過し、その時にコピー用紙に圧着される。圧着性を高めるには、定着ロールを加温する必要がある、その役割を熱源ヒーターが担っている。この熱源ヒーターに株式会社美鈴工業（以下美鈴工業）製 Steel Heater が使用されている。

川下製造業者からの Steel Heater に対するさらなる高性能化とコストダウンの要求に対し、美鈴工業では図 1-1 の断面に示すように、絶縁層としてエアロゾルデポジション（AD）法により成膜したアルミナ絶縁膜と絶縁ガラス層を積層させた新規絶縁層を導入し、Steel Heater の高性能化を図る。アルミナ AD 膜は、常温で緻密に成膜可能で、非常に高い絶縁耐力を持つことがわかっており、従来のガラス絶縁層よりも薄い絶縁層の実現が可能であると考えた。この薄い絶縁層は伝熱量（＝熱伝導率／厚み）を増加させ、ヒーターの熱応答などの改善につながる。さらに、アルミナ AD 膜はステンレスに対し強い密着強度を示すため、従来のガラス絶縁層と比較し基板との密着強度が高まり、プロセス中の反りによる剥離の問題も解決できることから理想的な絶縁層になる。しかし、現状の AD 法による成膜技術では大面積基材上に完全にピンホールのない膜を成膜することは困難であり、また他の部材（抵抗体や銀端子）は絶縁ガラス上に印刷することで既にプロセスが最適化されている。これらを鑑み、本提案ではアルミナ AD 膜上にガラス絶縁層を積層したガラス絶縁層／アルミナ AD 膜の積層絶縁層が最適ではないかと考えた。積層構造であれば絶縁層の総厚を薄くすると同時にプロセス上の問題も解決できる。さらにガラス使用量と製造工程の削減にもつながるメリットがある。従ってこの積層絶縁層の実現は従来の Steel Heater 製造プロセスとの整合性がよく、ヒーターの熱応答や加熱特性などを改善、製造コスト削減を実現するものであり、研究開発が必要である。

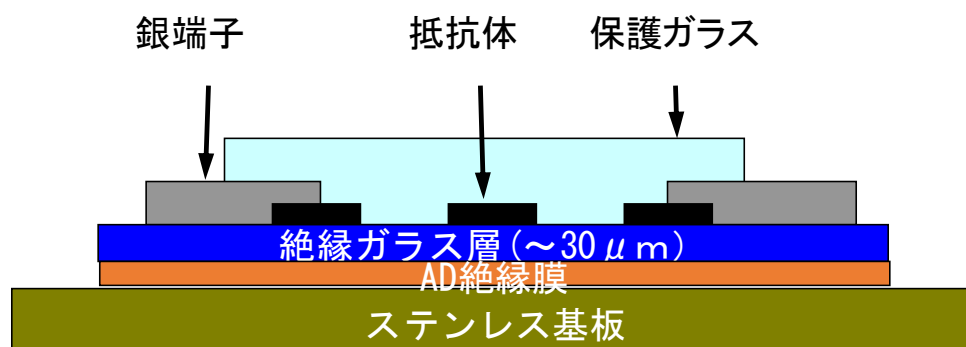


図 1-1 本研究開発で提案する Steel Heater の構造

導入した技術について

エアロゾルデポジション（AD）法

エアロゾルデポジション（AD）法は産業技術総合研究所において開発されたコーティング技術であり、常温で緻密なセラミックス膜を形成することが可能である。その方法を図1－2に示す。

産総研からの技術指導については、（3．補助事業の具体的内容）にてサブテーマ毎に記載している。

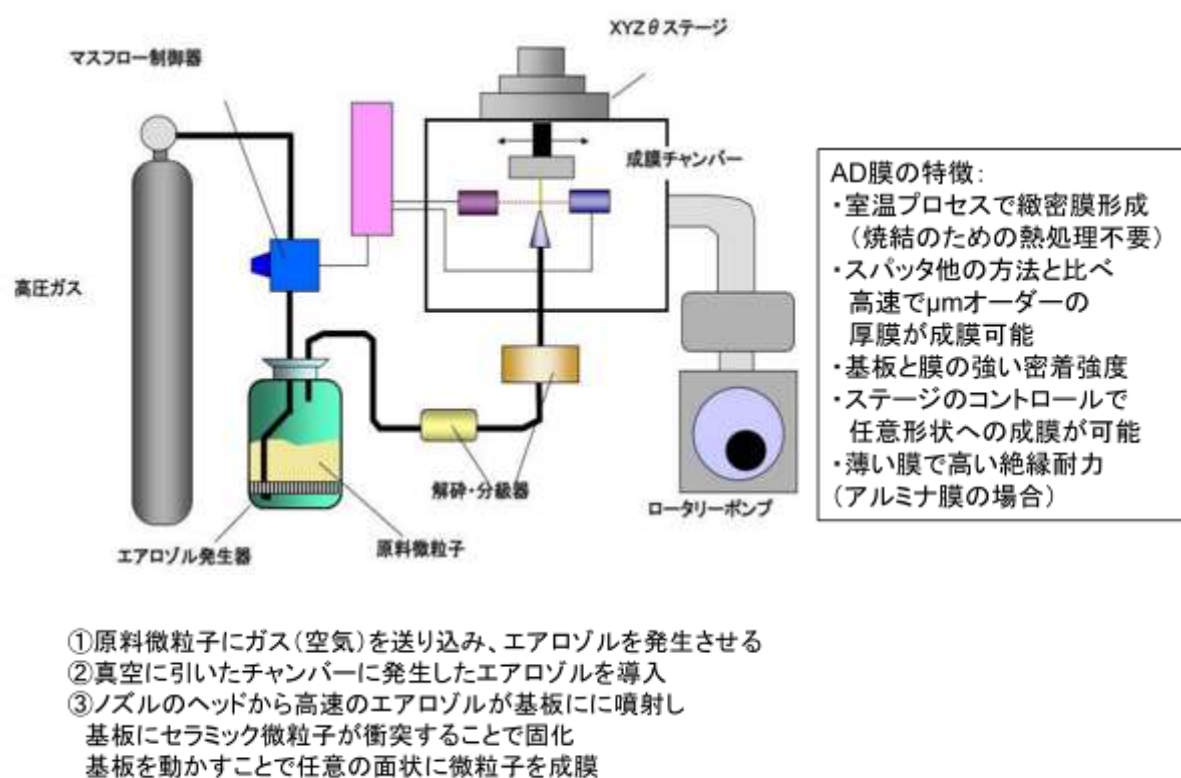


図1－2 エアロゾルデポジション法（AD法）

1-1-1 【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

本研究開発では Steel Heater 用絶縁層としてガラスと AD 膜の積層構造を考えている。ステンレス基板上にスクリーン印刷したガラスや AD 法で成膜したアルミナ膜の絶縁特性や密着性については既に明らかになっているが、積層構造とした場合の絶縁耐力や密着性、さらには Steel Heater 製造時の印刷・焼成工程時の熱サイクルによる影響については明らかとなっていない。ここではガラス層を極力薄くすることが可能な AD 膜の厚みと AD 膜を構成するセラミック粒子の粒径や緻密の最適化を行い、Steel Heater に適したガラス／AD 積層絶縁層を形成する技術を確立する。

1-1-1-1 【1-1. ガラス／AD 積層絶縁層の開発】

（目標値）ガラスの厚みを $30\mu\text{m}$ 以下としても十分な絶縁耐力が保てるガラス／アルミナ積層絶縁層を開発する。十分なガラス／AD 積層絶縁層の絶縁耐力が得られるアルミナ AD 膜の作製条件とアルミナ AD 膜の膜厚（ $20\mu\text{m}$ ）・緻密さについて評価する。

1-1-1-2 【1-2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD 積層絶縁層の開発】

（目標値）開発したガラス／AD 積層絶縁層の上に電極材料、抵抗材料を印刷・焼成し絶縁耐力の低下や反りなどの問題がないかを確認する。結果として絶縁ガラス層の印刷・焼成工程を一回にすることで、使用するガラス材料の量を $1/2$ 以下とし絶縁層形成に必要な時間（2400 本連続印刷時）を 20 時間（ガラス 2 層削減で 24 時間短縮し、AD 層工程 4 時間以内の想定）以上短縮する。

1-1-【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】

Steel Heater 製造に AD 膜を使用するためには、数 10cm 口の範囲に均一成膜可能な大型の AD 装置の導入と成膜技術の最適化が必要となる。本研究開発では、研究実施機関である産業技術総合研究所 先進コーティング技術研究センターと共同で、大面積に成膜可能な AD 装置の導入と成膜試験を実施し、Steel Heater 素子用絶縁層を形成するのに適した大面積 AD 成膜技術を開発する。

1-1-【2-1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】

（目標値）Steel Heater 製造のサイズである 50cm 口にアルミナを成膜するための AD 絶縁膜成膜装置を導入する。アルミナ絶縁膜を成膜するのに必要な時間としてガラス層 1 層の形成に必要な 12 時間よりも短い時間で成膜可能な仕様とする。

1-1-【2-2. 大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】

（目標値）AD 法により Steel Heater 製造に必要な 50cm 口のステンレス基板上に厚み、絶縁耐力の均一性に優れたアルミナ膜を成膜する技術を確立する。得られるアルミナ AD 膜の膜厚の面内のばらつきが 10% 以下となるよう最適条件を探索する。（バラツキが 10% を超えると上層 1 層で平坦がカバーできない）

1-1-【2-3. 大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

（目標値）AD 法によりアルミナ膜を形成した大面積ステンレス基板に絶縁ガラス層をスクリーン印刷し Steel Heater 製造に使用可能なガラス／AD 積層絶縁層を開発する。絶縁耐力の面内均一性については全試験個所において従来の絶縁ガラス層と同等以上の絶縁耐力（不良率 1% 以下）を持つことを目指す。

1-1-【3. 新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】

上記1. と2. で得られた知見をもとに実際の Steel Heater 製造工程によりガラス／AD 積層絶縁層を用いたヒーター素子を試作し、その製造方法の確立とデバイス評価試験を実施する。ガラス／AD 積層絶縁層を導入した Steel Heater は基板との密着性の強化や絶縁ガラス層の薄型化により熱伝導性が向上し、ヒーター特性（加熱速度や自己温度補完特性）の改善も見込める。これらを実現することで美鈴工業の従来製品よりも低コストで高性能な Steel Heater の市場への提供が可能となる。

1-1-【3-1. ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】

（目標値）新しい絶縁層を用いた Steel Heater の試作を行い、各製造工程における問題を解決する。従来法と比べ 20 時間以上の工程短縮と 50%以上の絶縁ガラス材料の削減が可能となることを確認する。

1-1-【3-2. 新 Steel Heater のヒーター特性評価】

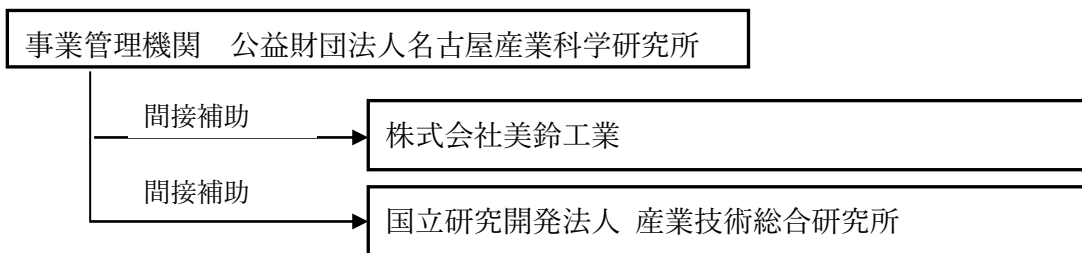
（目標値）従来構造のヒーターと新ヒーターの特性の比較を行う。新ヒーターの構造では絶縁層を薄くすることにより熱容量が低減されているため、絶縁層の伝熱量（＝熱伝導率／層厚み）が 30 倍（ガラスとアルミナの熱伝導率が 10 倍以上で、層厚みが 1／3 以下の想定）以上改善することが見込まれる。

1-1-【3-3. 新 Steel Heater の量産化への対応】

（目標値）新ヒーターにおける信頼性や製造時の歩留まり（現状 97%）を評価し、各研究開発要素へのフィードバックと、Steel Heater のさらなる高性能化を検討する。

1－2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）



総括研究代表者（PL）

株式会社美鈴工業

取締役 研究開発部部长 梅村 裕司

副総括研究代表者（SL）

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

先進コーティング技術研究センター

微粒子スプレーコーティング研究チーム

主任研究員 青柳倫太郎

アドバイザー

株式会社ハレ・コーポレーション 森口晴彦

1-3 成果概要

1-3【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD積層絶縁層形成技術の開発】

1-3-【1-1. ガラス／AD積層絶縁層の開発】

産総研にてアルミナ AD 膜をステンレス基板上へ約 6 μ m 程度成膜し、美鈴工業では産総研で作製したアルミナ AD 膜上にガラス絶縁層 1 層をスクリーン印刷し、ガラス／AD 積層絶縁層を形成した。そのサンプルにて十分な絶縁耐力（1768Vrms/1min）が保たれることを確認した。

1-3-【1-2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD積層絶縁層の開発】

Steel Heater 製造の条件下で作成したガラス／AD 積層絶縁層の絶縁耐力・反り・外観について問題無いことが確認できた。また信頼性試験についてもテーマ【3-3】において、製品規格であるサーマルサイクル試験 2 万回をクリアしている。

1-3【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】

1-3-【2-1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】

美鈴工業に大型 AD 絶縁膜成膜装置を導入した。また成膜のテストとともに装置を稼働するための周辺環境を整備した。導入した装置は産総研において構築された AD 装置に関するノウハウをいかしたもので、ノズルが自由に駆動する大面積に対応したものを選定した。また、装置以外の設置環境などについても産総研のノウハウを技術開示し美鈴工業に導入済である。

1-3-【2-2. 大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】

産総研で培ってきた AD 成膜技術を美鈴工業で昨年導入した装置での成膜に適應できるように装置運用面のアドバイス及び大面積基板成膜に必要な連続原料供給に欠かせない造粒紛試作結果もとにした成膜上のコツ等のアドバイスの結果、美鈴工業の大型成膜装置において膜厚分布の少ないアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立に成功した。

1－3－【2－3．大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

テーマ【2－2】にて取り組んだ、AD 法によるアルミナ膜を形成した大面積ステンレス基板に、絶縁ガラス層をスクリーン印刷し、Steel Heater 製造に使用可能なガラス／AD 積層絶縁層を形成した。

1－3－【3．新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】

1－3－【3－1．ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】

大型 AD 絶縁膜成膜装置を使用し、テーマ【2－2】【2－3】の成果に基づき、ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作を実施した。ガラス材料の使用量は 60%の削減を実施した。絶縁層印刷工程の短縮については、8.5 時間の短縮を実現した。

1－3－【3－2．新 Steel Heater のヒーター特性評価】

従来構造のヒーターと新ヒーターを作製し、赤外線サーモグラフィーカメラによる昇温速度の比較を行った。ガラスを AD 膜に置き換えることで素子全体が薄くなることから従来の Steel Heater より規定の温度に達する時間が 2.5 秒短縮できたことを確認した。また昇温速度 UP に加え、均熱性も 30%改善できたことを確認した。

1－3－【3－3．新 Steel Heater の量産化への対応】

【3－1】で試作し、【3－2】で評価した新 Steel Heater の量産化への対応を実施した。AD+絶縁 1 層で絶縁耐力 1.8kV/1min をクリアしており、これは AD 層の表面性が大幅に改善したことで、絶縁耐力の実力値がかなり向上したと考える。並行して、信頼性（耐久性等）を満たしているかの評価を実施したところ、製品規格であるサーマルサイクル試験2万回をクリアしている。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

（公財）名古屋産業科学研究所

産学連携支援担当部長 久野 茂正

Tel: 052-783-1255

Fax: 052-788-6012

E-mail: kuno@nisri.jp

株式会社美鈴工業

取締役 研究開発部部长 梅村 裕司

Tel: 0568-78-0710

Fax: 0568-47-2012

E-mail: micy_ume@misuzu-industry.co.jp

第2章 本論

2ー【1. 高い絶縁性を持つ Steel Heater 用ガラス／AD積層絶縁層形成技術の開発】

2ー【1ー1. ガラス／AD積層絶縁層の開発】

産総研にてアルミナ AD 膜をステンレス基板上へ成膜し、美鈴工業では産総研で作製したアルミナ AD 膜上にガラス絶縁層1層をスクリーン印刷し、ガラス／AD 積層絶縁層を形成した。そのサンプルにて十分な絶縁耐力（1768Vrms/1min）が保たれることを確認した。

課題① AD 膜を形成

結果（成膜厚み 表2ー1 参照）

条件項目

①アルミナ粉末

②乾燥条件

③粉末処理

結果より、明らかに乾燥が必要だということがわかった。

表2ー1 AD 成膜サンプルデータ（成膜厚み）

アルミナ粉末		A		B	
粉末処理		無	有	無	有
乾燥条件	条件1	7.32	0.96		
	条件2	4.36	4.33	8.13	2.58
	乾燥なし			2.46	1.17

（単位：μm）

課題② 成膜効率の確認

結果

成膜効率を改善するために成膜条件を調整し、成膜効率を上げる必要があると確認。さらに粉末の調整を継続して行い、供給された粉末が効率よく AD 膜となるように最適な粉末条件を得ることが重要だと認識した。

課題③ 造粒粉の評価

造粒粉の最適化は AD 法で大面積に成膜する際の成膜速度と安定性を向上させるために必要な技術的課題である。本研究開発では造粒加工会社に計3種類（条件①、②、③）の造粒粉の作製を委託した。

造粒粉末の性質は加工するスプレードライや装置やスラリーの調合方法により異なる。以下に条件①②③の造粒粉末の SEM 写真を示す。

図2－1は依頼して加工したアルミナ粉末の造粒粉 SEM 写真である。この粉末を AD 法により成膜を試みたところ、基板に到達した粉末が膜として付着する量が非常にすくなかった。

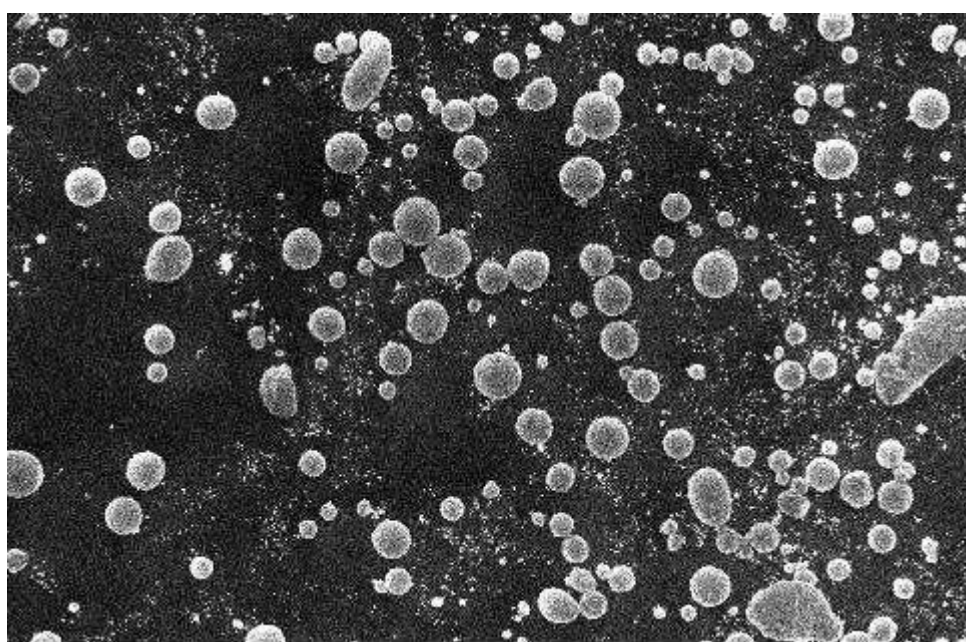


図2－1 条件①の造粒粉

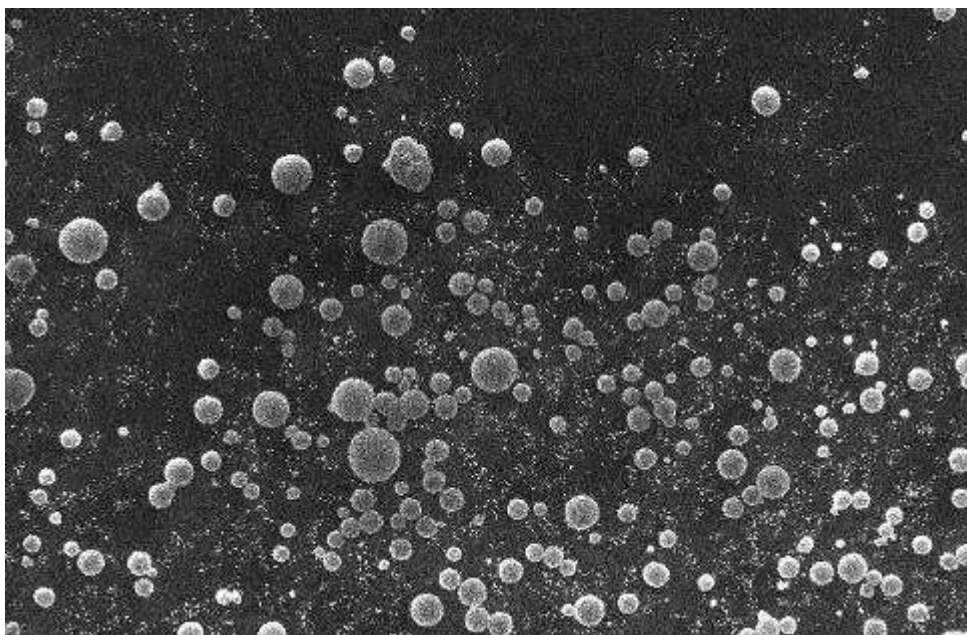


図2-2 条件②の造粒粉

図2-3は①の結果をうけて造粒を依頼した③の粉末の SEM 写真である。この粉の造粒テストをおこなったところ②と同様に成膜可能ことがわかった。

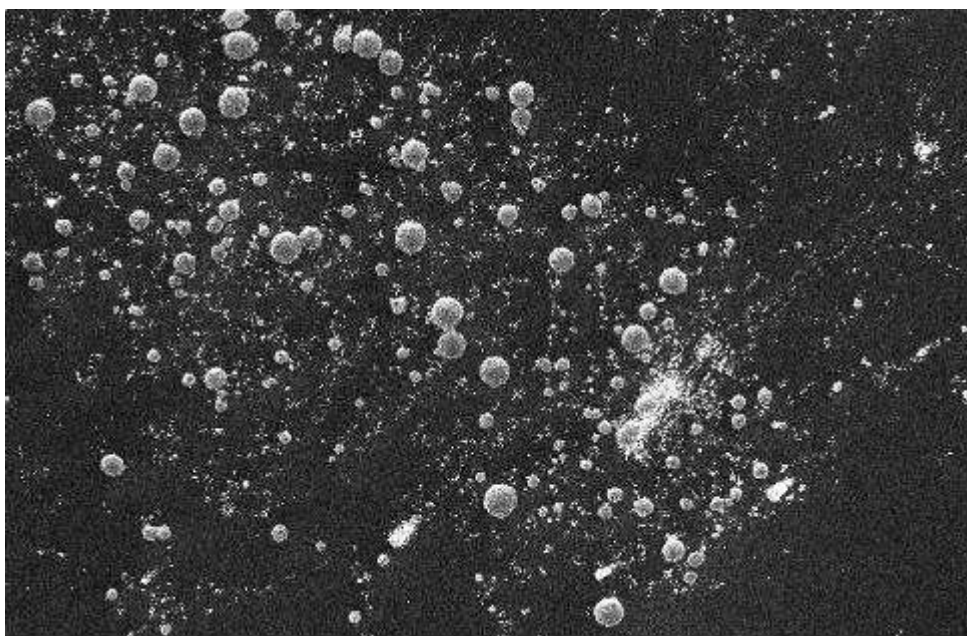


図2-3 条件③の造粒粉

今回テストした造粒粉は大きな成膜効率向上はみられなかった。

2ー【1ー2. Steel Heater 製造工程に合わせたガラス／AD積層絶縁層の開発】

美鈴工業において Steel Heater 製造の条件下で作成したガラス／AD 積層絶縁層の絶縁耐力(図2ー8)・反り(図2ー9)・外観(図2ー4)について完了している。信頼性試験についてもテーマ(3ー3)において、製品規格であるサーマルサイクル試験2万回をクリアしている。

課題① 熱サイクルによる剥離

産総研にて片面に AD のみ積層した SUS 基板を炉に投入し熱を加え AD 膜の剥離の有無を観察した結果 AD 膜の剥離はみられなかった。次段階では美鈴工業にて SUS 基板片面に成膜した AD 膜上にガラス層のスクリーン印刷を行い、Steel Heater と同じ製造工程で使用する炉に投入した。AD 上にスクリーン印刷したガラス層に剥離はみられなかった。(図2ー4参照)

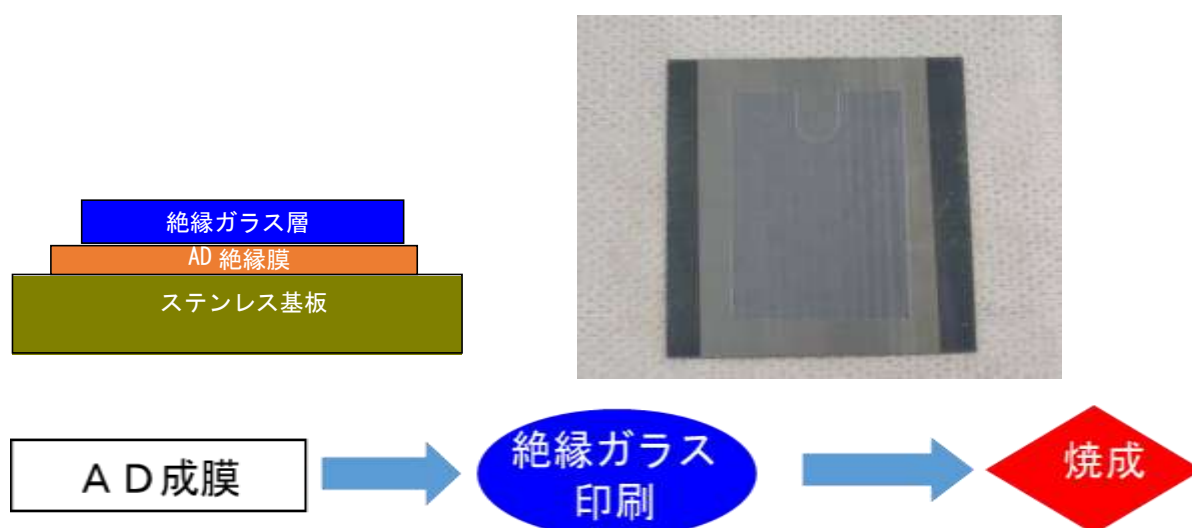


図2ー4 AD 膜上にガラス層を印刷し焼成した SUS 基板サンプル

(写真・構造及び工程)

課題② 加熱処理した試料の断面分析

SUS 基板に成膜したアルミナ AD 膜を Steel Heater の製造工程で焼成する温度でアニールし AD 膜と SUS 基板の界面を中心に透過型電子顕微鏡観察した。図 2-5 に膜と基板界面の STEM 明視野像と暗視野像、図 2-6 に同視野の組成分析 (EDX) 結果、図 2-7 に組成分析のラインプロファイルの結果を示す。図 2-5 よりアルミナ膜 (図の上側) と SUS 基板 (下側) との間に明瞭な空隙などではなくアニールによる剥離は見られないことがわかる。また膜部の写真からアニール後のアルミナ AD 膜は、産総研においてこれまでに研究されてきた一般的なアルミナ AD 膜の微構造と大きな違いはないことがわかった。図 2-6 に示す EDX 組成分析の結果より、基板材料 (SUS430) の微量成分である Cr (上右) と Mn (下中) がアルミナ膜に拡散していることがわかった。Cr については基板界面付近に拡散しているだけであるが、Mn は SUS 基板には存在せず全てアルミナ膜に拡散している。この結果は図 2-7 のラインプロファイルにも反映されている。このことがアルミナ膜の絶縁性や Steel Heater の性能に与える影響については今後検討が必要である。

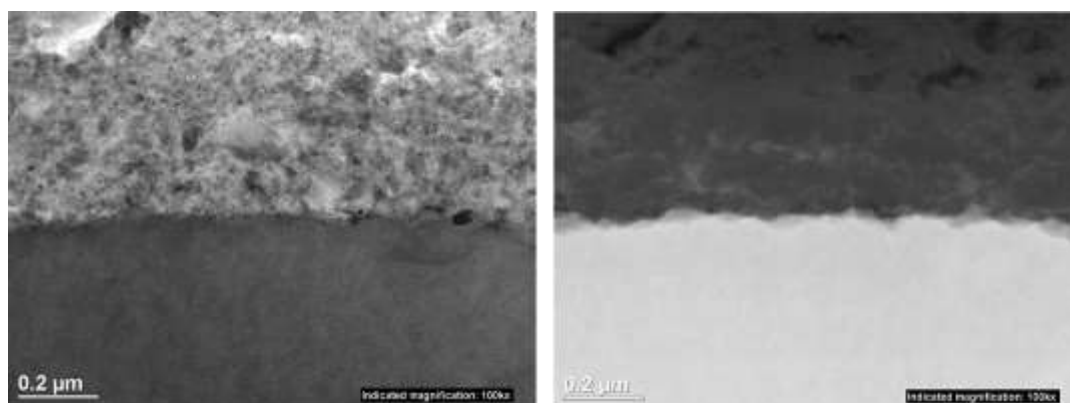


図 2-5 アルミナ膜の STEM 像

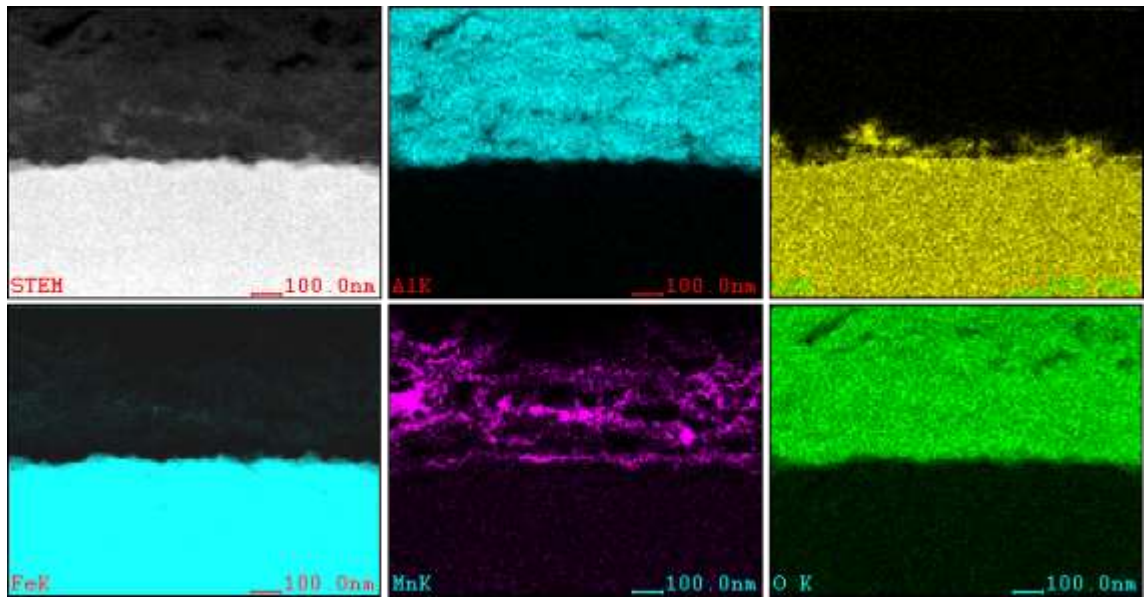


図2-6 EDX マッピング分析結果

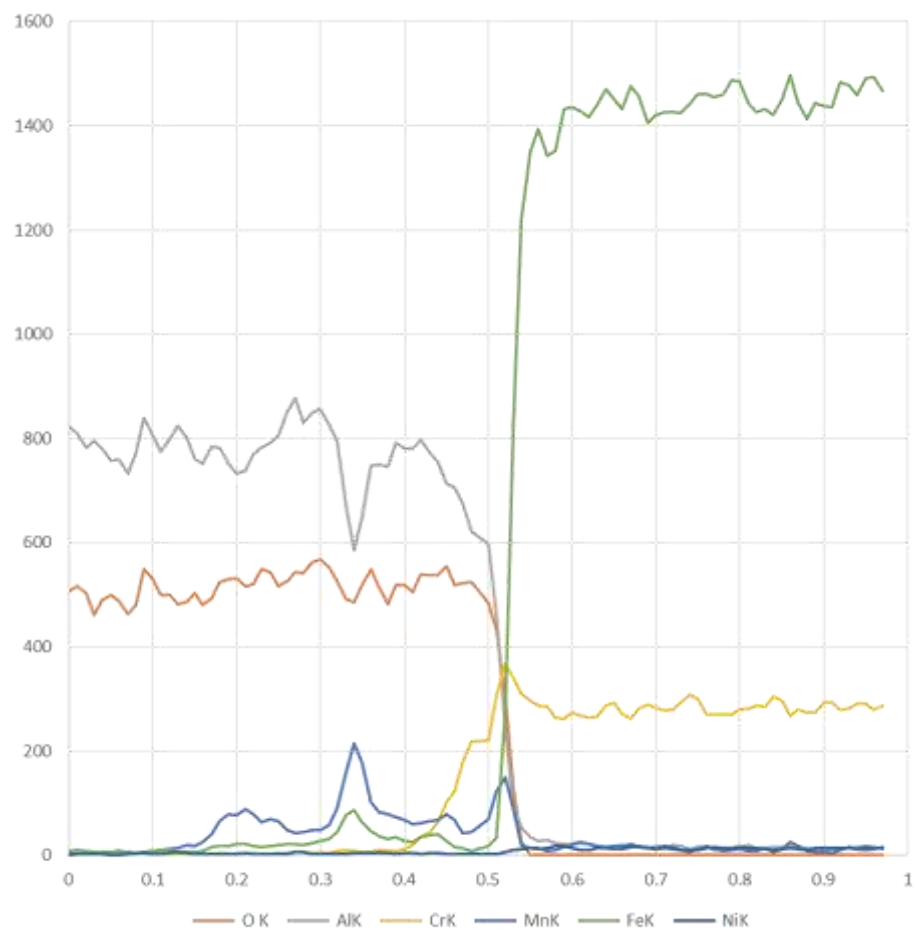
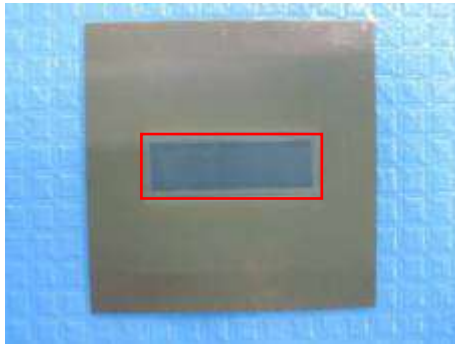


図2-7 EDX ライン分析結果



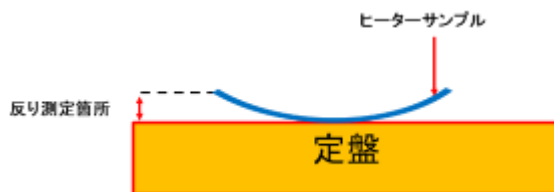
最後に
1.8kV/min で
も確認 ○

短縮テスト：1min⇒2sec 換算で評価（2sec÷1.2=1min 相当）

	300V	500V	700V	1kV	1.2kV	1.5kV	1.8kV	2.0kV	2.2kV
結果	○	○	○	○	○	○	○	○	○

低電圧から高電圧へ 2sec 毎に印加して評価

図 2－8 絶縁耐力試験結果



AD 成膜品では反りの向きが逆になるが、程度は変わらない。

図 2－9 反り結果

2ー【2. Steel Heater 素子用絶縁層のための大面積 AD 成膜技術の開発】

2ー【2ー1. 大面積基板に対応した AD 絶縁膜成膜装置の導入】

Steel Heater 製造に適した大面積基板への成膜が可能な AD 装置を美鈴工業に導入した。Steel Heater 素子の製造に対応した AD 装置は研究室レベルの装置とは異なり、大面積基板上に高速でかつ高品質、均一な成膜ができる使用が求められる為、産業技術総合研究所が研究開発してきた AD 装置に関するノウハウを生かし Steel Heater 素子の製造に適した AD 装置を設計した。また、この後の研究開発が円滑にすすむよう装置は初年度中の導入を行い、三年の間に装置構成を最適化できるようにした。

課題① AD絶縁膜成膜装置の導入

設備を導入し、稼働テストを行った。(図2ー10参照)

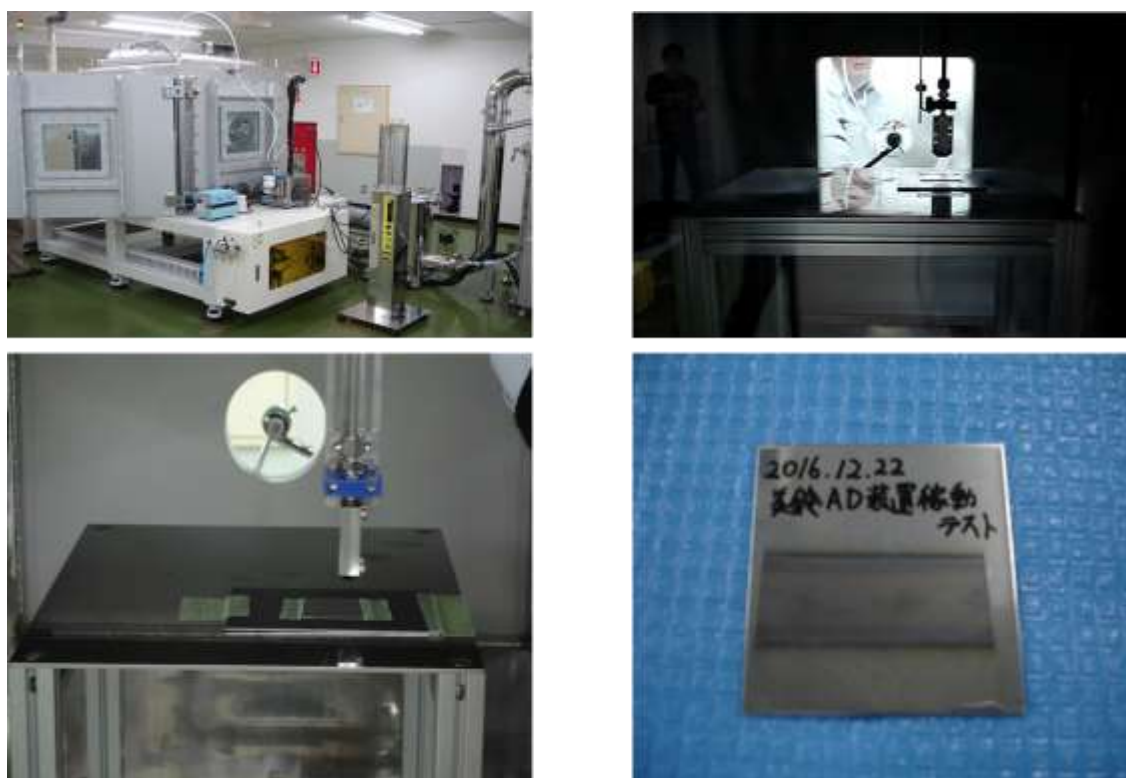


図2ー10 美鈴工業導入 AD 絶縁成膜装置稼働テスト

2ー【2ー2．大面積基板に均一なアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立】

産総研で培ってきた AD 成膜技術を美鈴工業で昨年導入した装置での成膜に適応できるような装置運用面のアドバイス及び大面積基板成膜に必要な連続原料供給に欠かせない造粒粉試作結果もとにした成膜上のコツ等のアドバイスの結果、美鈴工業の大型成膜装置において膜厚分布の少ないアルミナ絶縁膜を成膜する技術の確立に成功した。

2ー【2ー3．大面積基板へのガラス／AD 積層絶縁層形成技術の開発】

美鈴工業においてテーマ（2ー2）にて取り組んだ、AD 法によるアルミナ膜を形成した大面積ステンレス基板に、絶縁ガラス層をスクリーン印刷し、Steel Heater 製造に使用可能なガラス／AD 積層絶縁層を形成した。蛍光 X 線分析装置を導入・使用して原因の追究を実施した。具体的には、ステンレス-アルミナ間、アルミナ-ガラス間で何らかの反応を起こし、異物の発生が起こっていないかを確認・分析した。蛍光 X 線分析装置で分析した結果は図 2ー1 1 に記載した。また、アルミナ粉体の作業環境を向上するためにガス循環精製装置を導入して使用した。大面積での成膜を安定させるため、オンライン露点計を導入し、露点温度を粉末輸送経路でも監視することで最適条件を策定した。

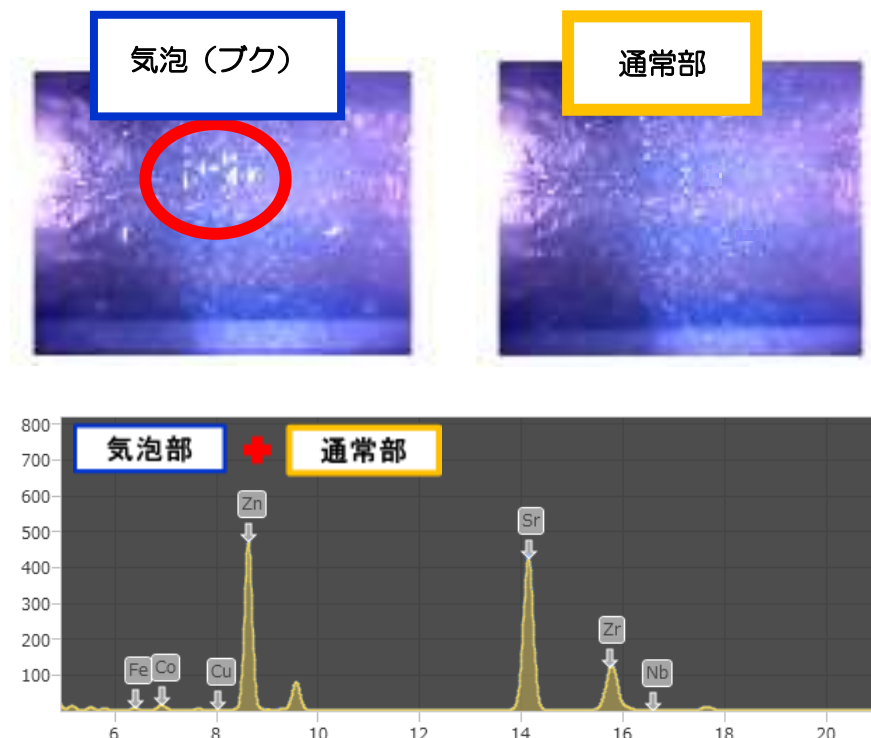


図 2ー1 1 蛍光 X 線分析装置の分析結果

今回、気泡(ブク)部・通常部ともに成分及びその濃度に違いは見られなかった。

このことから、この気泡部に異物が入っておらず、各層の厚みも通常部と同等であることが示唆された。

今後も種々の異常部において 蛍光 X 線分析装置を用いての成分・濃度分析を試みる。

2ー【3. 新絶縁層を用いた高性能 Steel Heater 製品の開発】

2ー【3ー1. ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作】

美鈴工業において大型 AD 絶縁膜成膜装置を使用し、テーマ（2ー2）（2ー3）の成果に基づき、ガラス／AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子の試作を実施した。ガラス材料の使用量は 60%の削減を実施した。（図2ー1 2）絶縁層印刷工程の短縮については、8.5 時間の短縮を実現した。

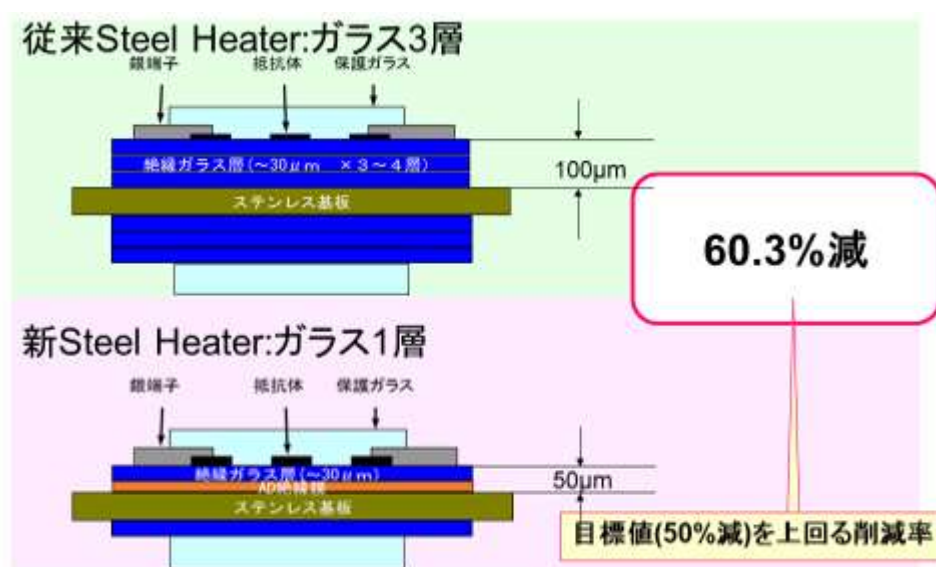


図2ー1 2 ガラス削減量

2ー【3ー2. 新 Steel Heater のヒーター特性評価】

美鈴工業において、従来構造のヒーターと新ヒーターを作製し、赤外線サーモグラフィカメラによる昇温速度の比較を行った。ガラスを AD 膜に置き換えることで素子全体が薄くなることから従来の Steel Heater より規定の温度に達する時間が 2.5 秒短縮できたことを確認した。(図 2ー1 3) また昇温速度 UP に加え、均熱性も 30%改善できたことを確認した。(図 2ー1 4)

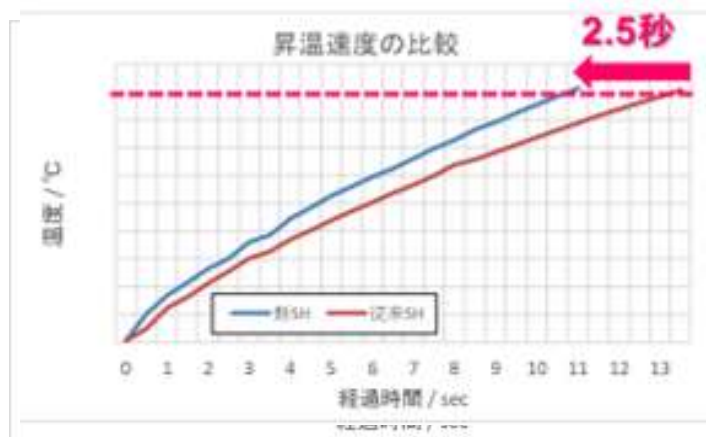


図 2ー1 3 昇温速度の比較

■ 昇温速度UPに加え、均熱性も改善！

➢ 高性能プリンター・複合機への採用拡大が期待出来る

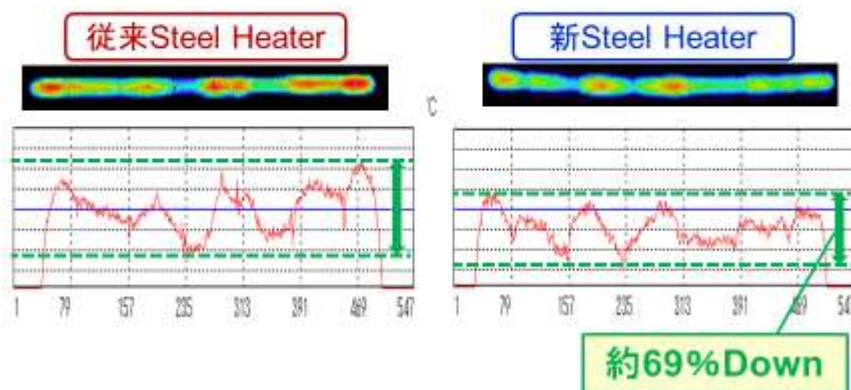


図 2ー1 4 均熱性の比較

2－【3－3. 新 Steel Heater の量産化への対応】

美鈴工業において、(3－1)で試作し、(3－2)で評価した新 Steel Heater の量産化への対応を実施した。AD+絶縁1層で絶縁耐力 1.8 kV/1min をクリアしており、これは AD 層の表面性が大幅に改善したことで、絶縁耐力の実力値がかなり向上したと考える。

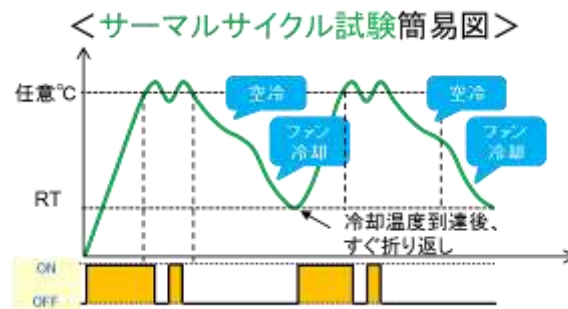
(図2－15)さらに、反りは従来型 Steel Heater よりさらに改善された。(図2－16)並行して、信頼性(耐久性等)を満たしているかの評価を実施したところ、外観の変化はなく製品規格であるサーマルサイクル試験2万回と抵抗値変化率1%以下もクリアした。(図2－17、2－18)



図2－15 表面性を改善した AD 膜



図2－16 従来型 Steel Heater からの反り改善



2万回到達 ⇒ 製品規格クリア
 抵抗値変化は1%以下
 外観(反り/ガラス剥離等)の変化は無し
N増しサンプル評価継続中

図 2 - 1 7 信頼性試験の条件と結果

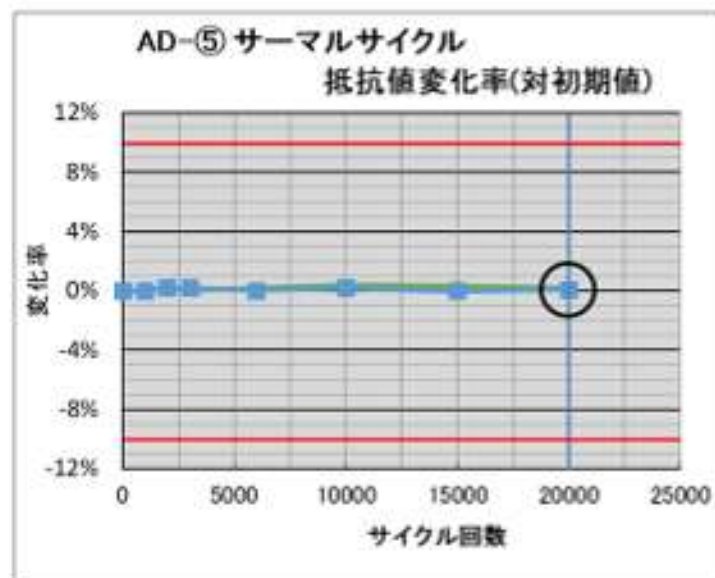


図 2 - 1 8 信頼性試験後の抵抗値変化率

最終章 全体総括

3-1 研究成果の総括

本開発により、ガラス/AD 積層絶縁層を用いた新 Steel Heater 素子を試作した結果、昇温速度 UP 及び均熱性の向上が従来品 Steel Heater と比較して確認できた。また、絶縁ガラスの材料削減及び工程時間の短縮も可能となり、大きな成果を得ることができた。ただし、AD 成膜に要する工数については投資を検討する余地があると考える。

3-2 事業化について

3-2-1 定着ヒーター

31年度は、サンプルの出荷を予定しているが、当初予定していた従来顧客以外にも評価をしていただけた顧客の候補があるため、その見極めが重要である。

定着ヒーターの売り込み・販売計画

製品等の名称		(1) AD法にて絶縁層を形成した定着ヒーター				
スケジュール	事業年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度
	サンプルの出荷	→				
	追加研究		→			
	設備投資		→	→		
	製品等の生産			→	→	→
	製品等の販売			→	→	→
	売上高の根拠	ヒーターとしての市場規模は650億円であり、川下業者は性能の良いヒーターがあれば今までも切り替えてきており、この市場に美鈴工業の製品を更に売り込むことは十分に可能である。大手業者にも営業活動を継続しており、本研究開発の成果がその営業・販促活動に大きく影響するため、現状の販売数量の上に上記の販売数量が期待できる。				

3-2-【2. 大型 Steel Heater】

定着ヒーターと同様、31年度はサンプルの出荷を予定しており、対象顧客としては、従来顧客を予定している。

大型 Steel Heater の売り込み・販売計画

製品等の名称		(2) AD法にて絶縁層を形成した産業設備業者向けの大型 Steel Heater				
スケジュール	事業年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度
	サンプルの出荷	→				
	追加研究		→			
	設備投資		→	→		
	製品等の生産			→	→	→
	製品等の販売			→	→	→
	売上高の根拠	美鈴工業の産業設備業者向けの Steel Heater の売上金額は、小規模である。ヒーターの市場規模は年間約300億円であり、これまでに美鈴工業のヒーターを販売している川下製造業者はもちろんのこと、本研究開発で Steel Heater の性能を飛躍的に高めることができれば、美鈴工業の製品を更に売り込むこと十分に可能である。 現在の販売先にも、主に技術的な部分をアピールして営業・拡販してきた。その結果として現在の売上がある。各川下業者には営業活動を継続しており、本件の研究がその営業・販促活動に大きく影響するため、現状の販売数の上に上記の販売数量が期待できる。				