

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業（平成23年度第3次補正予算事業）

「微粒子常温スプレー方式による産業用ロールへの

硬質アルミナ表面形成技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年2月

委託者 東北経済産業局

委託元 株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1) 研究の目的	1
2) 研究の概要	1
1.2 研究体制	4
1.3 成果概要	4
1.4 当該研究開発の連絡窓口	4
2.1 微粒子常温スプレー成膜装置の開発と成膜条件の検討	6
2.1.1 予備実験装置の設計、試作	6
2.1.2 予備実験装置の機構各部の検証	6
2.2 平板基材のアルミナ皮膜形成と信頼性評価に関する研究開発	7
2.2.1 平板基材とアルミナ皮膜間の構造的特性の確認	7
2.2.2 平板基材とアルミナ皮膜間の機械的特性の確認	8
2.2.3 平板基材とアルミナ皮膜間の化学的安定性の確認	10
2.3 大型化・量産化に関する試作検討	11
2.3.1 ロール曲面への表面処理方法の実施	11
2.3.2 処理前後の仕上げ方法の確立	12
2.3.3 回転式磨耗試験による耐久性評価	12
2.3.4 試験用製品サイズロールの選定と大型装置の仕様決定	13
2.4 事業化に関する研究	13
2.4.1 顧客への試作製品仕様の調査	13
2.4.2 事業化に向けての市場調査	13
最終章 全体総括	15

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) 研究の目的

東日本大震災を受け、磁気テープ、情報機器等のディスプレイ薄膜を生産している大手家電メーカーが使用する産業用ロール製品の補修及び更新需要が増加している。また、今後は反応性素材を含む新エネルギー関連製品の開発・生産が進むと予測されており、そのため産業用ロールとしての要求特性として、従来の物理的耐摩耗性だけでなく化学的安定性が川下企業から強く求められている。しかしながら、現在の川下製造業者からの要求に対して、従来のセラミックプラズマ溶射や硬質クロムめっきによる表面コーティング被膜の硬度及び化学的安定性では性能不足である。

本田精機株式会社（以下「本田精機」）においても、ロールの長寿命化のためロール表面の耐摩耗性を左右する表面硬度の向上にむけて、現在は硬質クロムめっきやプラズマセラミック溶射を施しているが、例えば、硬質クロムめっきが採用されている車載電池用のシート状部品（金属箔・樹脂フィルム複合材、イオンポリマーフィルム等）製造装置用ロールでは、ロールへの負担が大きいため、摩耗が速く耐久性に問題が生じていた。また、電解質スラリー等、反応性に富んだ材料に対しては耐食性に問題があるために使えず、化学的に安定である材料を用いることが必要となる。

そこで、微粒子常温スプレー方式という新技術によって表面コーティング被膜の硬度と化学的安定性の向上を図る。特に被膜の表面硬度は、耐摩耗性に直結するものである。従来は硬質クロムめっきによる表面処理により対処してきたが、その硬度は600HV～800HV程度であり、セラミックプラズマ溶射でも900HV～1200HVが保証限界である。新技術では、硬度1200HV以上の緻密アルミナ膜の形成を実現し、耐久性の大幅な向上を目指す。

更には処理工程数の削減による処理時間の短縮、脱めっき転換による廃液処理経費の全廃、めっきの欠点の一つであるピンホール発生による不良がなくなる等の効果も期待できる。

2) 研究の概要

本田精機では、かねてより、硬質クロムめっきやセラミックプラズマ溶射に代わる処理方法を模索しており、微粒子常温スプレー方式の発案者である、明渡 純氏が在籍する独立行政法人産業技術総合研究所（以下「産総研」）の指導・協力の下で金属ロールへの適用について研究を行っている。微粒子常温スプレー方式は、平板に対する成膜に関しては金属、ガラス、セラミック、樹脂といった多種素材の

基板に対してセラミックや金属の高品質の薄膜が効率よく成膜できることが実験的に実証されている。特に本研究に深く関係するアルミナ薄膜の大面积成膜技術については、600mm×600mm のガラス基板上に厚さ 50 μ m の α -アルミナ膜が成膜されている。また、既設の小型チャンバー内で ϕ 45mm×L80mm のアルミ製実験用ミニロールをノズルに対して回転・往復運動させる事でロール円筒曲面上にまんべんなくアルミナ微粒子をスプレーする実験を行っている。この二つの実験結果から得られた条件から本研究の目的達成の可能性が高まったと考えている。

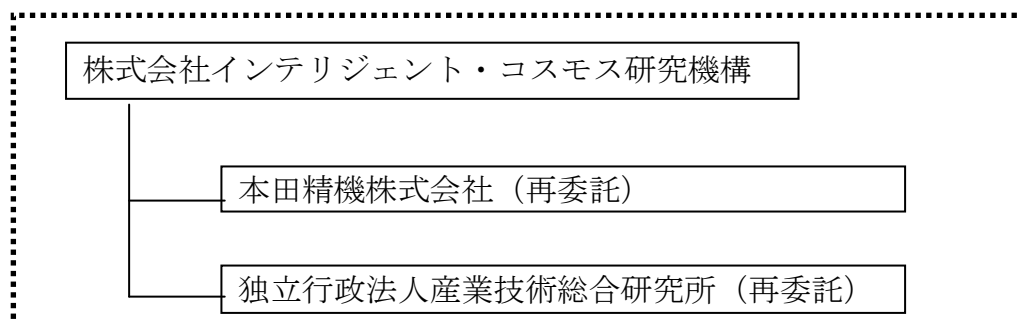
しかし、本研究で対象とする被接着体は ϕ 60mm～ ϕ 200mm、L500mm～L2000mm の鉄及びアルミ材質による円柱状のロール芯であり、これに微粒子常温スプレー法による成膜を行うためには流体力学上の複雑さも加わり、粒子の粒度・形状の管理、粒子保管方法、被膜体へのスプレー角度、ノズルの形状、噴射圧、微粒子濃度、ノズルの走査速度、AD 法特有の減圧環境化から常圧化に戻した際の被膜への影響、繰り返し使用による被膜安定性など、平面への成膜とは異なった課題が多い。そこで本計画では3年後までに製品ロールへの微粒子常温スプレー方式による安定した品質の表面膜形成技術の開発という最終目標に向けて、 ϕ 60mm～ ϕ 80mm、L300mm の縮小版実証試験用ロール等による実験で上記の内粒子の粒度・形状の管理からノズルの走査速度までの最適条件探索を中心に研究を行い、製品サイズのロールに微粒子スプレーで成膜可能な大型実験装置設計の知見を得る。

本研究開発は、①微粒子常温スプレー成膜装置の開発と成膜条件の検討、②平板基材のアルミナ被膜形成と信頼性評価に関する研究開発、③大型化・量産化に関する試作検討、④事業化に関する研究で構成される。

以下の表は本件の新技術（微粒子常温スプレー方式）と従来技術の比較をまとめたものである。

項目	従来技術		新技術	
	溶射	めっき	本件	新技術の特徴
成膜法	大気プラズマセラミック溶射	硬質クロムめっき	微粒子常温スプレー方式	製造使用電力量の低減、低環境負荷
加熱機構	大容量プラズマ（数百～数千℃）	めっき温度（40～50度）	成膜温度（常温）	加熱機構なし
膜厚	～150 μm	～100 μm	数～50 μm	あまり厚い成膜はできない
気孔率	数～数十％	0.数％程ピンホールクラックあり	ほとんどなく緻密	バルクセラミックと同等以上の密度になる
内部応力	引張応力	引張応力	圧縮応力	基材への密着力に寄与する応力
硬さ（HV）	～1200	～1000	～1600	高硬度
密着強度（MPa）	20～	40～	50～	高密着力
耐摩耗性	○	△	◎	高耐摩耗性
化学的安定性	○	酸○ アルカリ×	○	高安定性
工程数	5	5	2	従来技術の3／5削減
中間層有無	中間層あり	中間層あり	中間層なし	基材への直接成膜可
使用装置数	5	5	2	従来技術の3／5削減
装置コスト	1.5億円	1.2億円	9千万円	従来技術の1／4削減
処理時間 （月40本想定）	300時間	450時間	240時間	従来技術の1／5削減
処理コスト （1本想定）	25万円	22万円	15万円	従来技術の1／3削減

1.2 研究体制



1.3 成果概要

様々な分野で金属ローラーが使われているが、厳しい環境下でも高い耐磨耗性や耐久性が要求されている。現在は硬質クロムめっきで耐磨耗性能を得ているが、更に高い耐磨耗性を要求される場合があり、新しい開発は不可欠である。そこで本開発では、微粒子常温スプレー法を使って、アルミニウム合金の上に高強度で耐磨耗性に優れるアルミナ膜を作成した。成膜結果は良好な性能を示し、磨耗試験や腐食試験では従来品である硬質クロムめっきに比べて数倍以上の圧倒的差をつけていることが確認された。そこで、量産や大型化を前提としてロールへの成膜もトライし、良好なアルミナ膜の付いたロールを作成することに成功した。このロールを ASTEC 2013 にも展示し、市場の反響も調べたところ、電気・機械を問わず多くの業種からの問合せを頂戴して、反響の大きさも確認した。

現在このロールは実機への装着テストを行っているが、良好な結果である。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構

産学官連携・インキュベーション事業部 プロジェクト・マネージャー

澁谷 俊昌

E-mail : shibuya@icr-eq.co.jp

TEL : 022-343-0461

FAX : 022-279-8880

本田精機株式会社

代表取締役会長

本田 力雄

E-mail : info@hondaseiki.co.jp

TEL : 022-284-3077

FAX : 022-258-2265

独立行政法人 産業技術総合研究所
先進製造プロセス研究部門 上席研究員
明渡 純

E-mail : akedo-j@aist.go.jp

TEL : 029-861-7228

FAX : 029-861-7267

第2章 本論

2.1 微粒子常温スプレー成膜装置の開発と成膜条件の検討

製品ロール用微粒子常温スプレー成膜装置の研究用縮小版である予備実験装置を試作して、縮小版実証試験用ロールへの微粒子常温スプレー法(エアロゾルデポジション(AD)法；以下、AD法とする)による成膜実験を行い、円筒曲面に対して成膜を試みた。

2.1.1 予備実験装置の設計、試作

AD法による成膜の成膜条件の検討や成膜の様子を良く検討するための予備実験を行うために、予備実験装置を設計・試作した。図 2.1.1.1 にその外観を示す。装置は真空チャンバー、真空ポンプ、そして、真空チャンバー内でエアロゾルを噴射するノズルと、ロールや平板の試験片を可動させる装置で構成されている。



図 2.1.1.1 予備実験装置の外観

なお、この装置を使って実験を重ねていく過程で、発生した不具合は各部品の調整や改良を重ねることで、AD法による成膜がチャンバー内で可能になった。

2.1.2 予備実験装置の機構各部の検証

前節で作成した予備実験装置を用いて、AD法によるアルミナ膜の成膜実験を行いながら各部の機能や機構の検証を行い、改良を施した。

成膜実験の初期は、良好なアルミナ膜を作るのが難しかったが、各部分の改修や調整を重ねることで、成膜に成功することが増えた。図 2.1.2.1 に成膜に成功する事が増えた頃のロールの外観を示す。

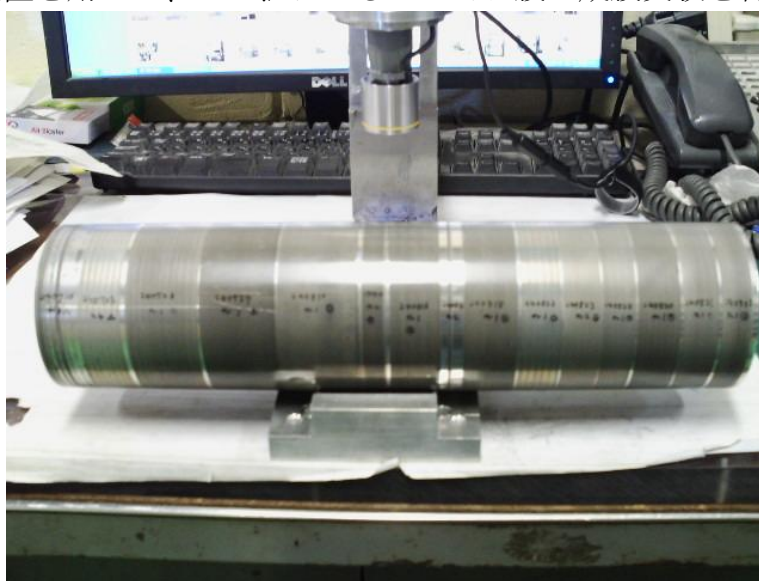


図 2.1.2.1 予備実験装置による成膜実験結果の1例

2.2 平板基材のアルミナ皮膜形成と信頼性評価に関する研究開発

製品ロールに AD 法でアルミナを成膜するためには、成膜した膜が緻密で十分な強度や耐磨耗性等の性能を有していなければ意味が無い。そこで本検討では、膜の性能が調べ易い平板に成膜を行い、その膜の性質を分析することで、アルミナ皮膜のロールが十分信頼性のあるものか否かを検証した。

2.2.1 平板基材とアルミナ皮膜間の構造的特性の確認

前節でも紹介したように、緻密でクラックの無い良好なアルミナ膜について、本当に緻密な膜であるかを調べるために膜表面を走査型電子顕微鏡で 10,000 倍まで拡大して検討した。その結果を図 2.2.1.1 に示す。非常に緻密であり、クラック等もない良好な膜であることが確認された。

なお、膜表面のあらさについて、接触式の表面あらさ計で測定した所、膜表面のあらさは基材表面のあらさをトレースすることが確認された。また、あらさ計を使って今回作成した膜の厚さを測定した所、成膜条件によって膜厚は異なるが、1~15 μm の膜が形成されていた。

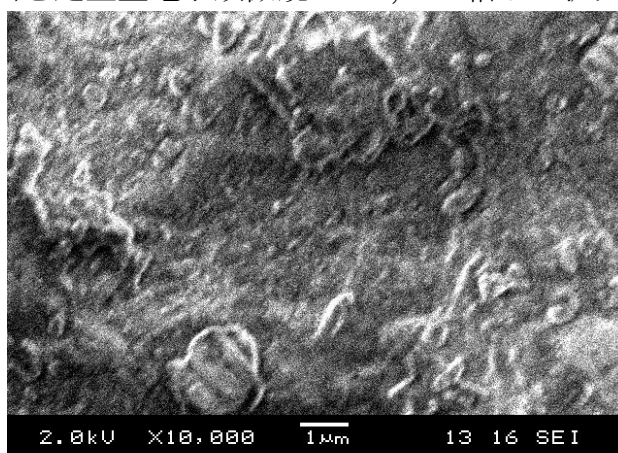


図 2.2.1.1 アルミナ膜表面の SEM 写真

実は、アルミナは厳密には α -アルミナ、 β -アルミナ、 γ -アルミナと複数の相を持つ物質であり、一般に知られている「硬くて磨耗しにくい」性質は α -アルミナが発する特性である。しかし、アルミナの成膜法で良く知られている溶射法では、アルミナの膜はできるが α だけの単相膜の成膜は難しいことが知られている。そのため、 α -アルミナ単相膜ができるか否かはコーティング技術では非常に重要になる。そこで、成膜したアルミナ膜が本当に α -アルミナなのか否かを X 線回折で検査した。その時の結果を図 2.2.1.2 に示す。

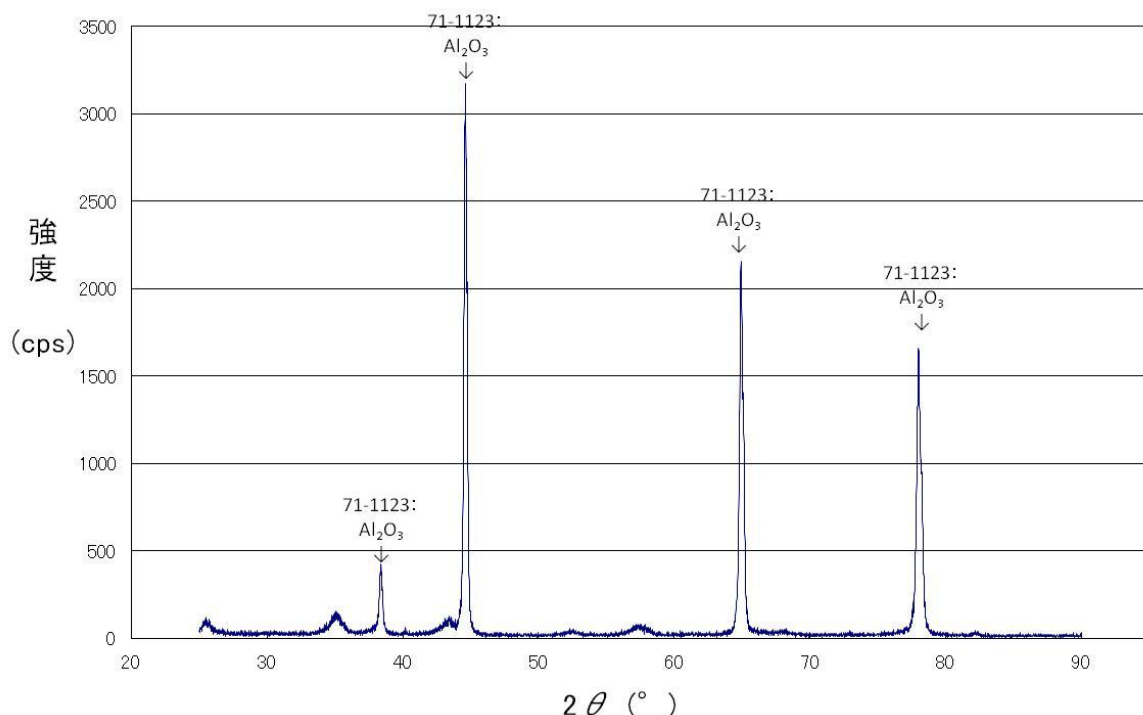


図 2.2.1.2 XRD 分析結果

膜表面を分析した結果、膜表面には α -アルミナを示すピークのみが確認され、 α -アルミナ単相膜が形成されていることが確認された。成膜したアルミナ膜が本当に α -アルミナの膜であるとすれば、高い強度や硬さ等を有するはずなので、さらに膜の機械的特性を測定することで検討を進めた。

2.2.2 平板基材とアルミナ皮膜間の機械的特性の確認

まず、膜の硬さを測るために膜のビッカース硬度を測定した。図 2.2.2.1 にその測定画面を示す。図のようにアルミナ膜上の任意の複数箇所に圧痕をつけ、膜の硬さを測定した。その結果、膜の硬さは 1100～1590Hv あることが確認された。一般にアルミナ膜の硬さは 1200～1600Hv と言われており、その値にほぼ等しい結果であった。したがって、硬さからも良好なアルミナ膜ができていると評価できる。



図 2.2.2.1 ビッカース硬度測定の場合

次に、密着性や耐摩耗性が十分にあるか否かを調べるために、アルミナ膜上で鋼球を一定の荷重でこすりつける

耐摩耗試験を行った。図 2.2.2.2 に耐摩耗試験を行った試験片の外観を示す。

また、現在硬くて耐摩耗性を有する実用皮膜として、硬質クロムめっき膜がある。そこで、本開発で作ったアルミナ膜とクロムめっき膜とを同じ耐摩耗試験を施し、どちらがどのくらい強いのかを評価することで、アルミナ膜の実用性を検証した。その

結果を図 2.2.2.3 に示す。なお、磨耗試験の条件は図 2.2.2.2 と同様である。

試験条件

使用圧子球: 超硬合金φ 5mm

圧子球印加荷重: 500g(4.9N)

測定円半径: 2.5mm

回転数: 300r.p.m(対試料速度: 78.54mm/sec)

測定時間: 300sec.(対試料走行距離: 23.562m)

測定環境: 乾式



図 2.2.2.2 耐磨耗試験条件と試験片の外観

測定条件: 使用圧子球: 超硬合金φ 5mm, 圧子球印加荷重: 500g(4.9N), 測定時間: 300sec.(対試料走行距離: 23.562m), 測定円半径: 2.5mm, 回転数: 300rpm(対試料速度: 78.54mm/sec), 測定環境: 乾式			
磨耗痕の顕微鏡写真			
磨耗減量	1.1mg	0.4mg	0.1mg以下 (測定不能)
磨耗痕深さ	73.07 μm (幅からの計算値)	10.45 μm	1.88 μm
磨耗痕幅	1.2mm	0.5mm	0.25mm
材質	アルミニウム合金 (地金)	硬質Crめっき	アルミナ膜

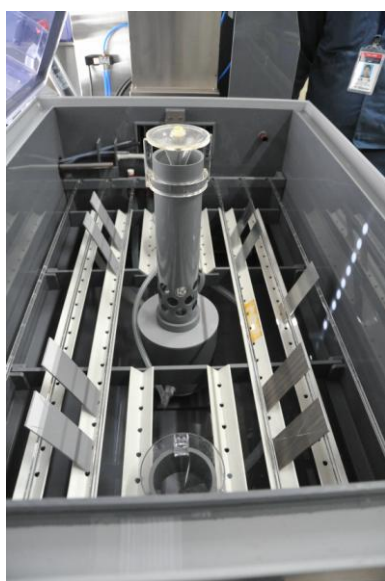
図 2.2.2.3 地金とクロムめっき膜とアルミナ膜の耐磨耗試験結果

今回、クロムめっきもアルミナ膜もアルミニウム合金上に成膜しているので、地金であるアルミニウム合金にも同様の試験を行い、それぞれの膜がどれだけ磨耗に強いかを検討した。図からも明らかなように、同じ磨耗試験条件で試験したにもかかわらずアルミニウム合金(地金)が最も激しい磨耗を示した。それに比べてクロムめっき膜は磨耗が少ないものの、磨耗痕の太さや磨耗による重量減から磨耗が起きていることが確認された。しかし、アルミナ膜においては、クロムめっき膜よりも更に磨耗しておらず、膜上に僅かな傷が残る程度であった。この結果より、アルミナ膜は実用のク

ロムめっき膜よりも数倍以上丈夫で耐磨耗性に優れていることが明らかになった。

2.2.3 平板基材とアルミナ皮膜間の化学的安定性の確認

耐磨耗試験よりもさらに実際の環境に近い状況で膜の性能を評価するために、塩水噴霧しながら室温や湿度を調整して耐腐食性や化学的な安定性を評価する複合サイクル試験を産総研が保有する装置で実験した。複合サイクル試験においても、従来品との比較をするため、硬質クロムめっき膜とアルミナ膜をテストして比較した。図 2.2.3.1 に複合サイクル試験機の内部の写真と、試験条件を示す。



JIS Z2371「塩水噴霧試験方法」、JIS H8502「めっき耐食性試験方法」および JIS K5600 7-9「塗料一般試験方法—第7部：塗膜の長期耐久性—第9節：サイクル腐食試験方法—塩水噴霧／乾燥／湿潤」に基づいて、硬質クロムめっきとアルミナ膜の耐食性を評価した。

塩水の調合

- ・ 水1リットルあたり塩化ナトリウムを50gの率で溶解
- ・ 常温でpHが6.5くらいになるように調整

サイクル条件

- ・ 塩水噴霧 2時間(室温35℃、湿度100%)
- ・ 乾燥過程 4時間(室温60℃、湿度30%)
- ・ 湿潤過程 2時間(室温50℃、湿度95%以上)

これを1サイクルとして、15サイクルの曝露試験を行う

図 2.2.3.1 産総研の複合サイクル試験機内部と試験条件

試験は、装置内に平板に成膜したクロムめっきやアルミナを写真のように設置して蓋をし、写真中央の噴霧塔から塩水や霧を噴霧し、ヒータで温度調整を行う。試験は JIS Z2371 「塩水噴霧試験方法」、JIS H8502 「めっき耐食性試験方法」および JIS K5600 7-9 「塗料一般試験方法—第7部：塗膜の長期耐久性—第9節：サイクル腐食試験方法—塩水噴霧／乾燥／湿潤」に基づいて行い、硬質クロムめっき膜とアルミナ膜を規定のサイクル条件[塩水噴霧に 2 時間(室温 35℃、湿度 100%)、乾燥過程に 4 時間(室温 60℃、湿度 30%)、湿潤過程に 2 時間(室温 50℃、湿度 95%以上)を 1 サイクルとする]に 15 サイクル晒すことで評価した。このサイクルに 15 サイクル晒すことにより、3 ヶ月間の大気中への曝露の時と同等程度の腐食が生じるので、長期にわたる腐食をこの試験で短期間に評価することができる。

複合サイクル試験の結果を図 2.2.3.2 に示す。クロムめっき膜の方はサイクルを重ねるごとに何かが溶けて流れた痕や小さなふくらみが多数確認されるなど、膜の劣化が容易に観察された。しかし、アルミナ膜の方は、試験の開始から終了までほとんど変化が無く無傷であることが観察され、アルミナ膜の圧倒的な耐腐食性と基板に対する高い密着力が確認された。

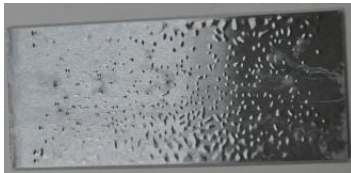
	0サイクル	5サイクル	15サイクル
Cr め つき	34.7g 	35.0g 	34.6g 
アル ミ ナ 膜	51.6g 	52.1g 	51.4g 

図 2.2.3.2 傷なし試験片の複合サイクル試験結果

2.3 大型化・量産化に関する試作検討

製品ロールには様々な寸法や表面状態があり、大型化や量産化には、膜の性能評価以外に解決すべき問題点が山積している。また、円筒面に成膜することは平板に成膜する場合と違い、曲面の影響の検討なども検討すべき項目になる。そこで、ここでは大型化や量産化に必要な技術や成膜条件の調整等の検討を行った。

2.3.1 ロール曲面への表面処理方法の実施

ロール曲面へアルミナ膜を成膜するには、成膜装置内にロールを回転させるための機構が不可欠である。そこで、ロールへの成膜に先駆けて、ロールを安定に回転させて成膜をサポートするジグの作成を行った。設置するチャンバーの都合上、まずは小さいロールが保持でき、安定に回転するジグを小型ロール回転機構装置として作成した。しかしながら、実際のロールは 1000mm 長のような長いものも存在し、それらへの成膜のためには大きなロールが保持できるジグもすぐに必要になる。そのため、小型ロール回転機構装置の設計と平行して、大型ロール回転機構装置も設計・製作を行った。

まず、300mm 長で直径 80mm のロールに成膜を試みた。その結果を図 2.3.1.1 に示す。

図のようにロール円筒面のほぼ全面にわたって厚さ 2.6~3.0 μm の良好なアルミナ膜が形成された。

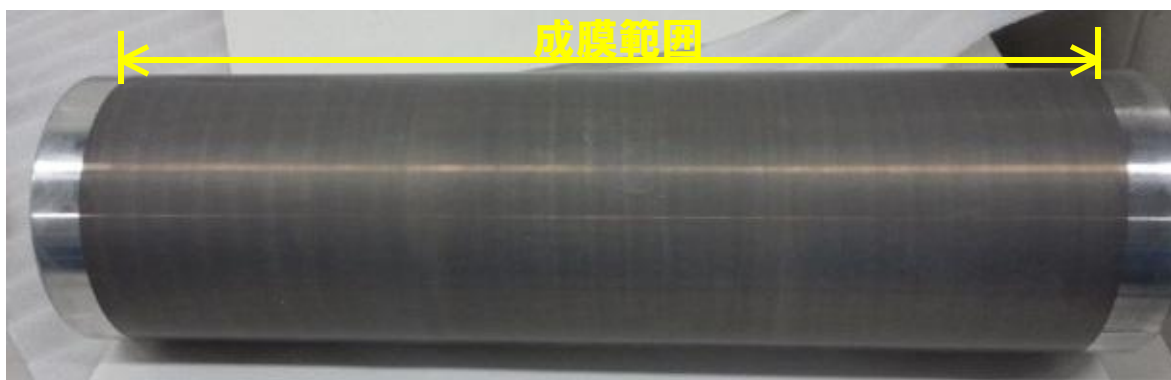


図 2.3.1.1 微粒子常温スプレー法で作成したアルミナ膜のロール

2.3.2 処理前後の仕上げ方法の確立

一般にロールへのコーティングはコーティング前の処理やコーティング後の研磨など、様々な処理をしながら作られる。そこで、本開発のアルミナ膜ロールの前処理や後処理の必要性を検討するために、表面の仕上げが違うロールに成膜することで基材のあらさと膜のあらさに関係があるのかを検討した。検討は表面の仕上げが違う 2 本のロール基材(1 本は滑らかな表面、もう 1 本はあらい表面)を用いた。成膜した表面をあらさ計で測ってみたところ、機材表面のあらさと膜のあらさには相関関係があることが確認された。

この結果より、ロール表面の仕上げに合わせて基材表面を調整することで後行程を簡素化し、又は省略できる可能性が確認された。

2.3.3 回転式磨耗試験による耐久性評価

実際のロールを装着して生産をしている装置に本開発で作成したアルミナ膜のロールをセットし、実際の生産の中で耐久性を評価することにした。

そこで、生産機のロール(材質、直径、長さ、表面あらさ、軸やジグの有無)を忠実に模したロールを用意し、そのロールにアルミナ膜を成膜した。そのようにして作成したロールの例を図 2.3.3.1 に幾つか示す。

現在、実機にロールを装着して



図 2.3.3.1 実機装着試験用ロールへの成膜例

耐久性の試験中であるが、今のところ「セラミック材の機能は“問題なし”でむしろ良好」である。まもなく更に詳細な耐久性のデータが得られるので、これからの開発に反映させる予定である。

2.3.4 試験用製品サイズロールの選定と大型装置の仕様決定

この項目は、これからロールの成膜を大型化して行く際の検討をするために準備している段階であるが、生産の現場で使用されているロールは 1000mm 長くらいの大型ロールも多数存在し、そのような大型製品への成膜もすぐに必要になる。大型ロールの成膜の検討をするためには、大型ロールが入る巨大な真空チャンバーが必要であるが、大型ロールでも安定に回転させ、成膜をサポートするジグも同様に必要である。そこで、1000mm 長の大型ロールを入れて成膜できる装置を設計・作成し、組み込みを完了した。

現在、この装置は、可動させながらチェック済みなので、大型ロールへの成膜の実験開始と共に使用可能な状態である。

2.4 事業化に関する研究

アルミナ膜ロールの製品を事業化するに当たっては、市場調査や従来製品を使っている顧客に対する調査等でアルミナ膜ロールに要求される仕様や動向を調べることは避けられない項目である。ここで得られた調査結果を研究開発にフィードバックすることでアルミナ膜ロールの性能を向上させ、事業化を推進させた。

2.4.1 顧客への試作製品仕様の調査

本田精機では各種サイズの硬質クロムめっき膜を付けたロールを製作・販売している。このロールの顧客は複数あるが、その中でもロールを多数納入している上得意客の 1 社から本開発で作成したアルミナ膜のロールに求める仕様等を調査した。

一方、試作したアルミナ膜ロールの実機への装着テストについても、本田精機の顧客企業のところで実施できるようになったので、仕様調査の一環として、実機仕様のロールにアルミナ膜を付けたものを実機に装着して試験中である。今のところ「セラミック材の機能は“問題なし”でむしろ良好」である。間もなく更に詳細なテスト結果が出てくるが、その結果を元にこれから改良し、又製品として販売できるかの検討を進める予定である。

2.4.2 事業化に向けての市場調査

ASTEC2013 は 1/30～2/1 に東京ビックサイトにおいて開催された先進産業技術をテーマとする合同展に参加した 12 の展示会の一つである。この展示会は、国内外の様々な分野から多数の企業・研究機関とその関係者が出展・来場するため、市場の反応を知るには格好の展示会であり、本田精機も参考出品として本開発で作成したアルミナ膜ロール及び耐摩耗性、耐腐食性試験で使用した試験片等の展示を行い、来場者



出展ブース



展示物

図 2.4.2.1 ASTEC 2013 における展示ブースと展示物

から本研究に対する評価とニーズを調査した。図 2.4.2.1 に出展したブースの外観と展示の写真を示す。

展示会では、予想以上の反響が有り、この技術が機械系の企業を中心に幅広い工業界から関心を引いていることが確認された。

来場者からの質問も技術的なものが多く、展示会のようなわずかなチャンスからでも「有益な情報や技術は引き出したい」という各種業界からの関心の強さと注目度が浮き彫りであると言える。中には「テストサンプルが欲しい」のような非常に積極的な企業もあることが確認された。この調査より、本開発で研究開発中のアルミナ膜ロールは非常に需要の大きい製品になることが確認された。多数の生の貴重な意見を頂戴したので、これらをこれからの開発に反映して行く予定である。

最終章 全体総括

本開発では、微粒子常温スプレー法(AD 法)でアルミナの緻密な膜を作ることで、従来品である硬質クロムめっき膜に比べて圧倒的に優位な性能を出せることが確認できた。

また、市場調査や顧客調査からもアルミナ膜のロールの需要についてもかなり大きいことが確認された。

これらの結果を併せて鑑みると、研究を続けることでこの技術を熟成させ、製品化することで、大きな市場が開拓され则认为している。市場が求めるロールに近付くためには、これまでの研究で明らかになった問題点を解決するだけでなく、市場の調査結果なども反映させて開発を進めることが必要である。

また、ロールも様々なサイズが有り、更に大型のものや特殊なものへの要望が現れるまでにそう時間差は無いと考えられる。そのため、大型化や多用化も成膜の安定化や高効率化と併せてこれからの開発では考えていかななくてはならない。