

## 市場流通材のスーパーメタル化開発

### 1) 開発の取り組み内容

本提案機関の所在する長岡地域には、従来から、世界トップレベルの金属加工のプロフェッショナルメーカーが多く存在しており、技術のポテンシャルは相当に高いレベルにあった。しかし、これらプロフェッショナルメーカーは、暗黙知に代表される固有技術やノウハウを抛り所とする場合が多く、優れた技術をN倍化しにくいところから、世界で勝つための突破口を開くに至っていなかった。長岡技術科学大学は、「技術を科学する」を学是とし、三十数年間にわたり産学連携を推進しており、その産学連携スタイルは、単に川上から川下に向かう大学発の技術開発が中心の共同研究ではなく、「実践力」、「技」、「匠」のキーワードで代表されるように企業等との連携を通じた実践を基本としていた。この大学の特性を用いて、暗黙知（技術）を理解（科学）するならば、新たな突破力となり、ものづくり日本の再生に資するところ少なくないと期待されていた。

### ■実用化ツールの開発

#### 【技術アイデアの創出】

以上の背景から、本提案では地域に根付いた世界トップレベルの金属加工技術に着目し、長岡技術科学大学の定量的科学的検討により、現場プラントを起点として、イノベーション創出を狙うことにした。地方のプロフェッショナルメーカーが有する地域資源としての材料・加工技術を、新たな価値を付加する製造技術に高めるためには、市場流通材に革新的金属表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化)を施す必要がある。そこで、本事業ではこの革新的金属表面処理技術の実用化（グローバルトップ技術の獲得）に向け、高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化の基礎技術を確立することを目的とした。

#### 【研究体制の構築】

ものづくりの現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することでドライトな「新たな気付き」を促す新しい産学融合ものづくりスタイルを確立し、市場流通材のスーパーメタル化開発を行うこととした。大学の基礎研究から積み上げる典型的産学連携ではなく、本提案においては「現場の実機装置において、今、現場で何をやる必要があるか」を、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立することを目指した。地域企業の強みである「経験価値」「実践力」と大学の「科学価値」「創生力」の融合で、市場流通材に新たな価値を付加する革新的表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化)を獲得し、さらに、長岡近郊のプロフェッショナルメーカーなどともコラボすることで、目に見えるものづくりにより、地域活性化を目指した。

#### 【研究テーマ提案（研究資金の獲得）】

革新的金属表面処理技術の実用化（グローバルトップ技術の獲得）に向け、市場流通材のスーパーメタル化（高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化）をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。

## 【技術開発のマネジメント】

ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することで「新たな気付き」を促す、新しい産学融合ものづくりスタイル（SIPスタイル）を深化させることとした。

## 【技術開発】

### ・高耐摩耗化

H28年度までは、金型材の摩耗試験方法の確立、浸S/浸N厚さ独立制御浸硫窒化法の基礎技術確立、鍛造に適した硫化物層厚さ・窒化厚さとそれらのトライボロジー挙動から表面処理プロセスデザインへのフィードバックを実施。H29年度以降は、ラボレベルでの浸硫窒化をベースとする新規表面処理法の検討を継続し、従来寿命19000ショットの金型を安定的に寿命30000ショットの寿命とする浸硫窒化法を提示するとともに、その社会実装を推進する。

### ・高耐食化

H28年度までは、企業現場の熱処理炉の熱測定、熱分布シミュレーション解析、試作金属片を用いた電気化学的な耐食性試験、および、フェライト系ステンレスを窒素処理した材料を用いた燃料電池スタックを構築、発電特性評価、連続試験評価を実施。H29年度からは、燃料電池用金属セパレータの製品化へ貢献することを視野に入れ、窒素熱処理技術の構築を目指す。具体的には、窒素熱処理とガス供給流路形成加工を組み合わせ、耐食性を維持したまま機械加工による寸法や変形亀裂の生じない手法を検討しテストユースの可能性を探る。変形亀裂に基づく耐食性の変化を電気化学インピーダンスで検出する手法を検討し評価項目になり得るかを判断する。また、従来品との比較としてステンレス鋼 SUS316L の100倍以上の耐食性(1/100の腐食電流)を有する窒素熱処理 SUS445 材の安定な製造条件を明らかにする。最終的には、固体高分子形燃料電池セパレータ用 SUS316L の300倍以上の耐食性(1/300の腐食電流)を有する窒素熱処理 SUS445 材を提示して、安定な製造条件を見出す。

### ・高摺動化

真似されない差別化めっき技術を目指し、摺動性や耐食性に優れ工業的に多用される Niめっきの、1.高硬度化、2.高摺動化、3.Niめっき表面安定化、4.めっきプロセス改善、に取り組む。

#### 1. 高硬度化

H28年度までは、Niめっきアミノ酸共析を検討し、幾つかのアミノ酸の種類と硬度発現の関係を明らかにし、Hv500程度までのめっき試作に成功した。しかしながら、Crめっきの硬さ(Hv>800)には及ばないため、添加アミノ酸の高硬度化錯化メカニズムを明らかにすることで、Crめっき並みの硬さを目指した。H29年度からは、機械部品メーカー内部規定において実用化目標時間とされている連続試験(1000-5000h)を行う。また、高硬度化の効果を発現しやすく熱の影響から形状変化をきたしやすいアルミニウムをめっき母体に使用し高硬度化の評価を進める。

#### 2. 高摺動化

H28年度までは、Ni-Pめっき液中にナノ粒子(カーボンナノチューブ、ナノダイヤモンド)を均一に高分散させる技術の見通しを得、このめっき液を用いて工業的に多用される軸受けやピス

トンリングなどへのめっきを実施、摩擦係数が乾式で 0.2、湿式で 0.05 を実現し、さらに、実験点数は一点であるが一部の機械部品に対し、1000 時間の性能維持を確認している。また、試作品提供によるユーザ評価を繰り返すことで実用化対象を明確にした。H29 年度からは、エアコンや空気圧縮機に使用されるエアエンドや機械装置のチェーン、軸受けなどを対象に B2B セットメーカー評価を繰り返し、ナノダイヤめっき実用化条件としてめっき液の濃度、温度、時間を定量化する。

### 3. めっき表面処理

H28 年度までは、めっき母材への影響をできるだけ少なくした表面熱処理を行うことで、めっき金属の結晶構造を安定化できる可能性検討に着手した。また、これまでに検討してきた高摺動化技術を自転車用チェーンに応用し、自転車用チェーンの価値モデル構築を行った。H29 年度からは、現状で 10 倍以上あるめっき厚ばらつきを 1.2 倍以下にすることを目標に安定化の評価を進める。また、これらの評価に使用したパラメータを蓄積し、使用することで、経験工学的だっためっき厚さ均一化を経験が浅い技術者でも、その技術取得を早くできるようなる。これは、めっき技術者の人材育成と開発プロセス短縮による低コスト化に資するもので、めっき産業から地方創生に貢献できる。

### 4. めっきプロセス改善

H28 年度までは、無駄めっき低減のため、一般的めっき対象に含まれるエッジや平面、曲面を有するテストピースを設定し、金属イオンが集中しめっきが厚くなる部位を実験的に明らかにした。さらに、厚くなる周辺に邪魔板を配置することでめっき厚さを制御できることを確認し、ニアネットシェイプめっきの方向性を明らかにした。ここで用いた邪魔板の形状や配置位置は、めっきプロフェッショナルメーカーの経験工学に基づくものであり、適正な効果を示した。さらに、無駄めっきに用いる邪魔板の形状や配置位置を計算科学で求める方法を確立し、その計算結果から 3D プリントなどで邪魔板を試作しめっき浴に設置することで、めっき厚を均一化する一連の支援システム構築をめざす。H29 年度からは、めっき厚さ均一化支援システムの実用化に向けた改良を加え、めっきしたい対象の CAD 図からめっき厚さ均一化のための樹脂製邪魔板を造形でき、その適正配置までを表示するシステム装置にする。

## 【技術の検証方法の決定】

長岡技術科学大学スタッフが、オンサイト・オンタイム開発に関わり、地方企業に大手企業と同様の開発部門機能を持たせることで、地方企業の製造技術向上を図る産学融合ものづくりスタイル(SIP スタイル)を確立し、地方企業の開発力を高めることとした。

## 【技術検証】

- ・[高耐摩耗化] 金型寿命 30000 ショットを見通せる浸硫窒化技術における硫化層の独立制御を確立。
- ・[高耐食化] 燃料電池セパレーター用材料として SUS316L の 100 倍以上の耐食性 (1/100 の腐食電流) を有する窒素熱処理による SUS445 材を提示。
- ・[高摺動化] ナノダイヤ分散 Ni/P めっきによる摩擦係数、湿式 0.05 以下。
- ・[無駄めっき低減] めっき厚均一化について膜厚ばらつきを 1.2 倍以下。

### 【知的財産の確保】

＜長岡技術科学大学＞SIP 期間前の該当出願なし。さらに SIP 期間中はクローズ戦略に基づき出願なし。

### 【技術のツール化（装置、ソフト、ノウハウ）】

- ・[高耐摩耗化] SIP メンバ以外の企業（長岡歯車）との検討を開始。
- ・[高耐食化] SIP メンバ以外の企業で窒素中熱処理に着手。大学での要素試験結果の広い普及を目指す。
- ・[高摺動化] ナノ粒子としてナノダイヤの検討を進めている。同時に、ナノダイヤ・ナノグラファイト製造メーカーと共にその応用検討に着手。
- ・[無駄めっき低減] めっき厚さ均一化支援システムの中核機能を使用した無駄めっき低減を検討するシミュレーションツールを準備中。公設試などへ活用方法を展開する。

## ■ 出口戦略

### 【ツールの出口戦略の決定（コンソーシアム、ベンチャー設立、販売、オープン利用など）】

革新的生産・製造技術を「ものづくりプラットフォーム」と位置付けて、国内展開することで、新潟県を主体とした製造をバイファクトリーからマルチファクトリーに拡張し、輸出産業への足掛かりとする（海外企業は取引条件としてバイファクトリー以上を求めることが多い）。

### 【コンソーシアムの運営】

—

### 【ベンチャー設立】

—

### 【ツール販売】

セットメーカーとの PDCA 開発の中から、特に日本が強い産業インフラ製品である空気圧縮機やポンプ、ファン、あるいは土木・農業機械へ適用して差別化製品とする。適用 B2B 部品としては、軸受けやピストンリングの他に、空気圧縮機用スクロール、チェーンが有望。空気圧縮機やポンプ、ファンでは、特に摺動性が求められる。土木・農業機械では耐食性が求められる。従来の Cr めっき仕様部品から順次本開発 Ni 基めっきに切り替える。

### 【ツールオープン利用】

めっき厚さ均一化支援ツールの普及による人材育成とめっき産業からの地方創生に貢献するため、SIP 終了後もめっき厚さ均一化支援ツールを継続使用できる地域体制を整えるとともに、公益財団法人燕三条地場産業振興センターなど公設試と協力し、発表会や講演会を開催し企業に対する PR をし

て普及を図る。また、上記活動を通じて、新潟県の地域産業界でのテストユースの実施を目指す。

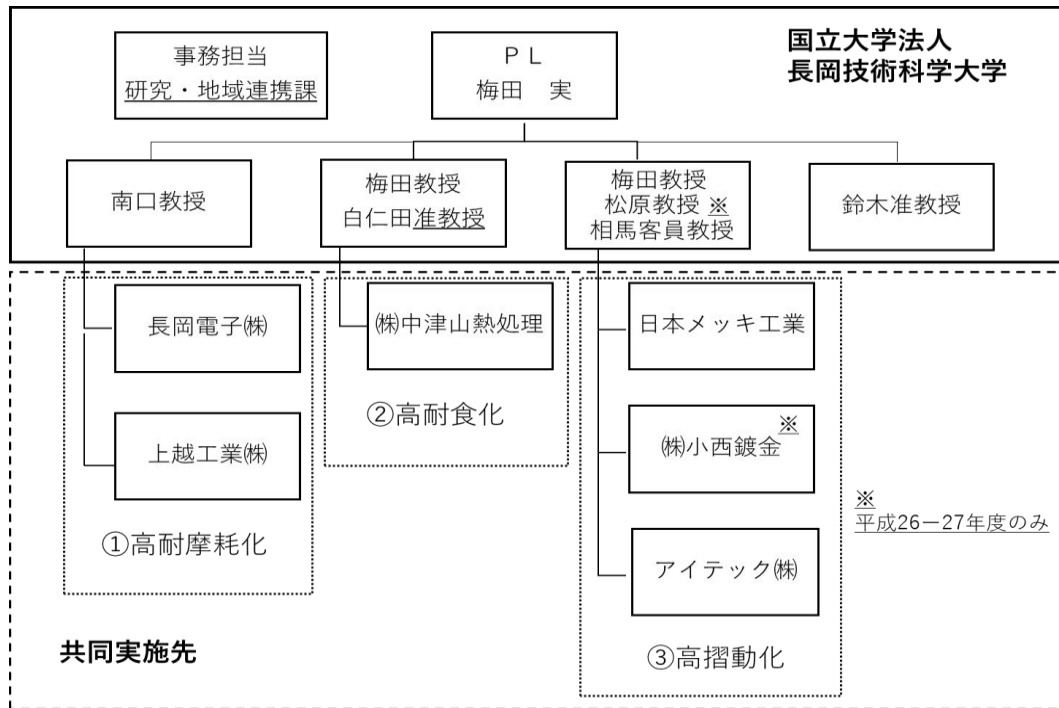
- ・高耐摩耗化 : テストユースを経てサンプルプローブ(上越工業内での実施試験中)
- ・高耐食化 : 窒素中熱処理ステンレスの熱処理メーカーによる量産試作と燃料電池金属セパレータユーザーメーカーへのサンプル提供。
- ・高摺動化 : ナノダイヤモンドめっきの機械部品類への適用開始。
- ・SIP スタイル : 継続してスーパーメタル化技術開発以外の分野でも適用していくため、既存の大学共同研究制度に取込み。
- ・めっき厚さ均一化支援ツール : 企業に対して PR し普及を図るとともに地域産業界でのテストユースの実施を目指す。

#### 【技術の PR】

公開可能な技術を基に高耐摩耗化・高耐食化・高摺動化に関する革新的金属表面処理技術資料を作成し、公設試を通じて外部公開する。公設試などと協力して、革新的金属表面処理技術資料と新しい産学融合ものづくりスタイルについて企業への PR を図ることによって本プロジェクト成果の継続的な普及・運用方法を確立する。

2) 開発のタイムライン (詳細別紙)

3) 開発形態ダイアグラム



4) 成功要因と課題

- ・提案機関の地元には、従来から世界トップレベルの金属加工プロフェッショナルメーカーが多く存在し、技術ポテンシャルが高かった。一方、これら金属加工プロフェッショナルメーカーでは、暗黙知に代表される固有技術やノウハウを拠り所としている場合が多く、優れた技術をN倍化したいニーズが存在した。
- ・長岡技術科学大学は、企業との連携を通じた実践を基本としており、地元企業に張り付き現場で技術課題発掘、科学的解明、改善を行う素地ができていた。金属加工プロフェッショナルメーカーに対し大学の基礎研究から積み上げる典型的産学連携ではなく、大手企業と同様の開発部門機能を持たせるべく本提案において「現場の実機装置において、今、現場で何をする必要があるか」と、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立した。

5) 場・仕組みからのFB

該当なし

後編(アゾク)	要綱(予定)期間	だれが、いつ(からいつまで)、(だれと)、どのように行か	市場流通材のスーパーメタル化開発																							
			H25			H26			H27			H28			H29			H30			H31~(将来の見込)					
			1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q		3Q	4Q			
技術アイデアの創出		本提案では地域に根付いた世界トップレベルの金属加工技術に着目し、長岡技術科学大学の定量的科学的検討により、現場プラントを起点とし、イノベーション創出を担うこととした。地方のプロフェッショナルメーカーが有する地域資源としての材料加工技術、新たな価値を付加する製造技術に高めるためには、市場流通材に革新的な金属表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)を施す必要がある。本事業はこの革新的な金属表面処理技術の実用化(グローバルトップ技術の獲得)に向け、高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化の基礎技術を確立することを目的とした。	<ul style="list-style-type: none"> <li>上級工業とはH18から鋼の熱間鍛造に関する共同研究を実施している。</li> <li>長岡電子とは溶融窒素に関する共同研究をH20に実施している。</li> <li>中津山熱処理、新潟電子技術研とは以前から共同研究を行い、電気化学法に共同執筆し、かつ学会発表もしている。</li> </ul>																							
	研究体制の構築	ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することでデイトン「新たな気付き」を促す新しい産学融合のづくりスタイルを確立し、市場流通材のスーパーメタル化開発を行うこととした。大学の基礎研究から積み上げる典型的な産学連携ではなく、本提案においては「現場の実機装置において、今、現場で何を必要とするか」を、大学研究者が企業現場サテライトで実機装置を起点に本質課題を把握・発掘・共有・対策するスタイルを確立することを目標とした。地域企業の強みである「経験価値」「実践力」と大学の「科学価値」「創生力」の融合で、市場流通材に新たな価値を付加する革新的な表面処理技術(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)を開発し、さらに、長岡近郊のプロフェッショナルメーカーなどにも波及することで、目に見えないものづくり、地域活性化を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>上級工業は実際の鍛造実験、長岡電子は実用による熱処理実験</li> </ul>																							
研究テーマ提案(研究資金の獲得)		革新的な金属表面処理技術の実用化(グローバルトップ技術の獲得)に向け、市場流通材のスーパーメタル化(高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化)をSIPに提案し、H26に採択され研究に着手した。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★SIP採択</li> </ul>																							
技術開発のマナジント		ものづくり現場に大学が張り付き、ものづくり現場の「暗黙知」「実践知」を科学することで「新たな気付き」を促す、新しい産学融合のづくりスタイル(SIPスタイル)を深化させるとした。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★産学融合のづくりスタイル</li> <li>★本学が、ものづくり現場(企業)に張り付き、暗黙知、実践知を科学し、新しい気づきを生きた。</li> </ul>																							
	技術開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>★高耐摩耗化: アイデア創出 基礎技術</li> <li>★高耐食化: アイデア創出 基礎技術</li> <li>★高耐酸化: アイデア創出 基礎技術</li> </ul>																							
技術の検証方法の決定		長岡技術科学大学スタッフが、オンサイト・オンタイム開発に関わり、地方企業と大手企業と同様の開発部門機能を持たせることで、地方企業の製造技術向上を図る産学融合のづくりスタイル(SIPスタイル)を確立し、地方企業の開発力を高めることとした。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★オンサイト、オンタイムスタイルは、SIP開発の新たな取り組みとして着手。</li> </ul>																							
技術検証		<ul style="list-style-type: none"> <li>【高耐摩耗化】金型寿命3000ショットを見逃せる溶融窒素技術における酸化層の独立制御確立。</li> <li>【高耐食化】燃料電池セパレーター材料としてSUS316Lの100倍以上の耐食性(1/1000腐食電流)を有する窒素熱処理によるSUS445板材を提示。</li> <li>【高耐酸化】ナノダイヤ分散Ni/Pめっきによる摩耗係数、浸透0.05以下。</li> <li>【無駄めっき低減】めっき厚均一化について膜厚ばらつきを1.2倍以下。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【高耐摩耗化】目標: 寿命30,000ショットの見逃しがついた</li> <li>【高耐食化】目標: 燃料電池セパレーター材料としてSUS316Lの100倍以上の耐食性を達成</li> <li>【高耐酸化】目標: 摩耗係数0.05以下を達成</li> </ul>																							
知財財産の確保		【長岡技術科学大学】SIP期間中の該当出願なし。さらにSIP期間中はクロス戦略に基づき出願なし。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★クロス戦略に基づき出願なし</li> </ul>																							
技術のツール化(装置、ソフト、ノウハウ)		<ul style="list-style-type: none"> <li>【高耐摩耗化】SIPメンバー以外の企業(長岡造研)との検討を開始。</li> <li>【高耐食化】SIPメンバー以外の企業で窒素中熱処理に着手。大学で実証試験結果の検証を目指す。</li> <li>【高耐酸化】ナノダイヤめっきがナノダイヤの検討を進めている。同時に、ナノダイヤ・ナノダイヤ製造メーカーと共にその応用検討に着手。</li> <li>【無駄めっき低減】無駄めっき低減を検討するシミュレーションツールを準備中。公設試などへ活用方法を展開する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>★SIPメンバー以外の企業と窒素中熱処理にて準備中</li> <li>★SIPメンバー以外の企業で窒素中熱処理に着手</li> <li>★ナノダイヤ・ナノダイヤ製造メーカーと共にその応用検討に着手</li> <li>★公設試など活用検討</li> </ul>																							
ツールの出口戦略の決定(コンソーシアム、ベンチャー設立、販売、オープン利用など)		革新的な生産・製造技術「ものづくりプラットフォーム」と位置付けて、国内展開することで、新潟県を主体とした製造をバリエーションからマルチファクトリーに拡張し、輸出産業への足掛かりとする(海外企業は取引条件としてバリエーション以上を要求することが多い)。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★出口戦略検討開始</li> <li>★めっき厚ばらつき均一化支援ツールのオープン利用</li> </ul>																							
コンソーシアムの運営		-																								
ベンチャー設立		-																								
ツール販売		セッターなどのPCCA開発の中から、特に日本が強い産業インフラ製品である空気圧縮機やポンプ、ファン、あるいは土木・農業機械へ適用して差別化製品とする。適用B2B部品としては、軸受けやピストンリングの他に、空気圧縮機用スワロー、チェーンが有望。空気圧縮機やポンプ、ファンでは、特に運動性が求められる。土木・農業機械では耐食性が求められる。従来のめっき仕様部品から順次開発Niめっきに切り替える。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★空気圧縮機への展開</li> <li>★土木・農業機械への展開</li> <li>★研究会/講演会実施(5回/年)</li> <li>★研究会/講演会実施予定(4回/年)</li> </ul>																							
ツールオープン利用		めっき厚ばらつき均一化支援ツールの普及による人材育成とめっき業者からの地方創生に貢献するため、SIP終了後もめっき厚ばらつき均一化支援ツール継続使用できる地域体制を整えたとともに、公益財団法人第三多地域産業振興センターなど公設試と協力し、発表会や講演会を開催し企業に対するPRをして普及を図る。また、上記活動を通して、新潟県の地域産業界でのテストケースの実施を目指す。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★高耐摩耗: テストケース/サンプルグループ</li> <li>★高耐食化: SIPメンバー以外の企業で窒素中熱処理に着手</li> <li>★高耐酸化: ナノダイヤめっきの機械部品類へ展開</li> <li>★無駄めっき低減: 小規模事業者の利用方法を検討</li> </ul>																							
技術のPR		公開可能な技術に基づき高耐摩耗化・高耐食化・高耐酸化に関する革新的な金属表面処理技術資料を作成し、公設試を通じて外部公開する。公設試など協力して、革新的な金属表面処理技術資料と新しい産学融合のづくりスタイルについて企業へのPRを図ることによって本プロジェクト成果の継続的な普及・活用方法を確立する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>★各種イベント等での講演</li> <li>★ニュースリリース/SIPシンポジウム</li> <li>★SIPシンポジウム</li> <li>★Facebookで情報発信</li> </ul>																							