【公開版】

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

「ＩＩｏＴを活用した高強度締結部品向け廉価熱処理・表面処理連続プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

令和元年５月

担当局　近畿経済産業局
補助事業者　一般財団法人大阪科学技術センター

【公開版】

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
1－2　研究体制
1－3　成果概要
1－4　当該研究開発の連絡窓口

第2章　本論
2－1　ショットブラスト工程省略の為のスケールフリー・熱処理技術および表面処理技術の開発
(1) リン酸被膜の完全除去条件の技術開発
(2) 特殊雰囲気焼戻し処理条件の技術開発
(3) 亜鉛アルミフレーク被覆処理の塗布均一性工法開発および IIoT による管理システムの構築

2－2　耐遅れ破壊性・耐腐食性能の技術的裏付けデータの収集と各現象・機構解明
(1) 遅れ破壊感受性とリン酸皮膜残存量とのメカニズムの解明
(2) 亜鉛アルミフレーク被覆処理後の密着性・耐腐食性評価

2－3　IIoT を活用した各工程におけるリアルタイムでの監視・測定・制御・記録システムの構築

最終章　全体総括
3．1　研究成果のまとめ
3．2　補助事業の成果に係る事業化展開について
(1) 想定している具体的ユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果
(2) 事業化見込み

第１章 研究開発の概要

熱処理・表面処理工程の高度化による酸化スケール除去工程の省略を実現できる製造プロセス技術の構築により、耐遅れ破壊性・耐腐食性に優れた高強度締結部品の品質向上、低コスト化、省エネ、納期短縮を目指す。

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

＜研究開発の背景＞

締結部品は通常、伸線加工や鍛造加工等により製造するが、その際にダイスや金型と鋼材の摩擦低減のために「リンを含む潤滑剤」を使用する。これが被膜として製品表面に残存すると、後工程の熱処理時にリン成分が製品内部に拡散・侵入して使用過程での遅れ破壊を誘発（課題❶）する。他方、焼戻し熱処理では、炉内に残存する大気中の酸素により製品表面に酸化膜（スケール）が生成（課題❷）し、表面処理膜との密着性を低下させる。そのため、表面処理業者では、製品表面に対して微小な鋼球を高速で叩き付けてスケールを除去するショットブラスト工程が不可欠となるが、ブラスト鋼球の残留による錆発生やネジ部の嵌合精度の低下などの問題（課題❸）を伴う。当然ながら表面処理前に追加工程が必要となることや、上記の各工程は個々の企業で実施するために素材・半製品の輸送・保管や錆発生防止のための防錆油塗布などによる製造・物流費用の増加を招く（課題❹）。これらはボルトメーカの抱える課題と要請（ニーズ）である。

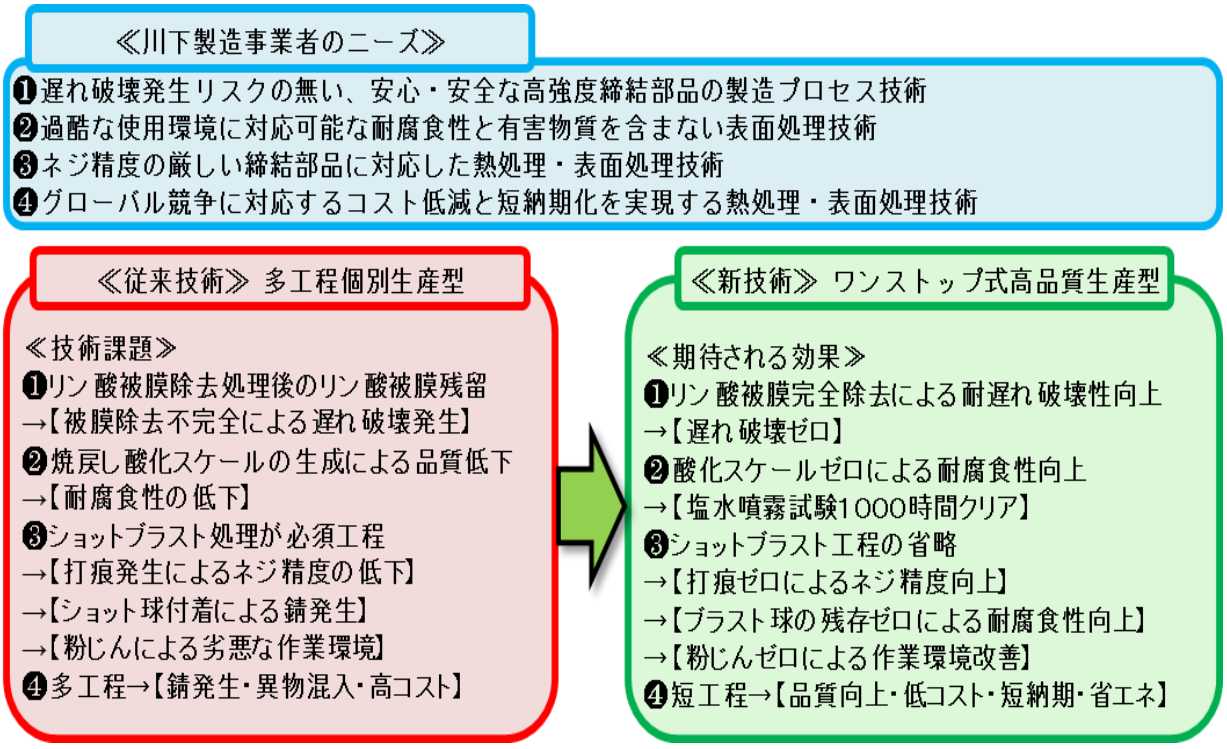
そこで、上記の課題を解決し、廉価で高品質な高強度締結部品の革新的製造プロセスの確立を目指す。従前の製造工程と本開発製法の対比を下図に示す。また、本製法の特徴や期待効果は次の通りである。

[1]熱処理工程にインライン化したバレル研磨装置（既設）によるリン成分の完全除去⇒課題❶に対応

[2]酸素分圧制御加熱炉での焼戻し熱処理により酸化スケールの生成を抑制⇒課題❷に対応

➡その結果、ショットブラスト工程が不要となる⇒課題❸に対応すると共に、製造コスト削減に寄与する。

[3]リン酸被膜除去―熱処理―表面処理の連続工程化による低コスト化と納期短縮⇒課題❹に対応



＜研究開発目的及び目標＞

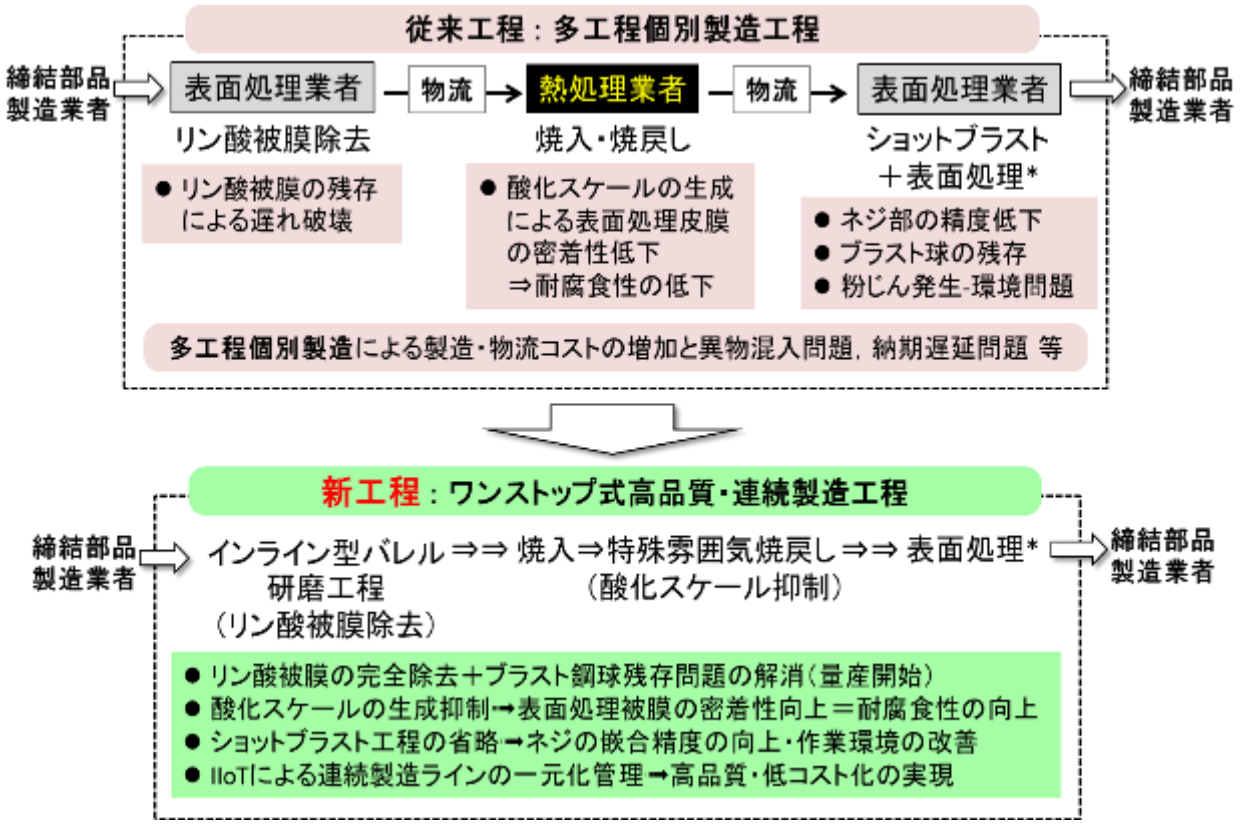
① 目的

熱処理と表面処理を個々の専業メーカで実施する現状の製造工程において、品質問題、製造コスト、環境・人体負荷・クレーム発生時の責任の所在が不明などの複雑な諸問題が存在する中、これらを解決できる熱処理と表面処理を融合した高品質かつ廉価な表面処理の構築・提供は上記の市場ニーズに応え得るのみならず、環境改善の観点からも重要な課題である。具体的には熱処理業者である弊社が締結部品作製以外の工程をすべて一貫生産する。これは単に個別の外注工程を取り込み、内製化することが目的ではなく、ショットブラスト工程を省略することで前述した品質・コスト・納期に関する様々な利点を得て、それらを顧客ユーザと共有することが真の目的である。

② 目標

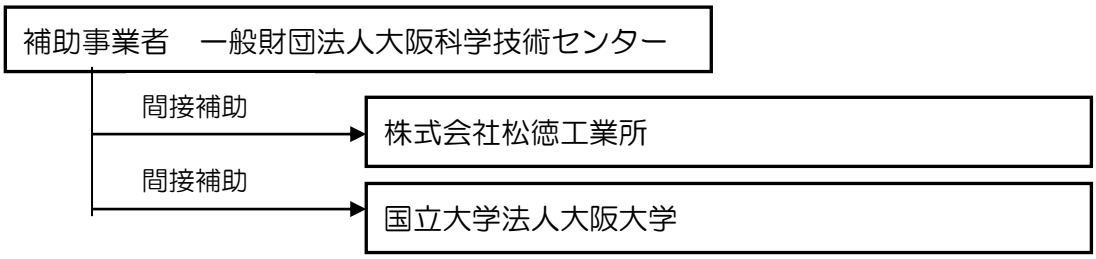
上記のような目的を達成するため、本事業にて確立を目指す具体的な連続製造プロセスとして、先ず、締結部品表面に付着したリン酸被膜を完全に除去（1%以下）し、錆が発生しない時間間隔（30分以内）で焼入炉に装入する。その後、連続して焼入れ熱処理の後に焼戻し熱処理を特殊雰囲気下で行い、酸化スケールの発生を防止することにより、清浄度の高い表面状態の製品が得られ、その結果、ショットブラスト工程の省略が可能となる。

このことにより、ボルトメーカ等の川下ニーズである高効率化と迅速化を実現し、今後の強力な競争相手となる新興国に対しても、高品質とコスト競争力のあるプロセス技術でグローバル競争に対応することが可能となる。



１－２　研究体制

＜履行体制図＞



＜研究者＞

株式会社松徳工業所　　横尾
国立大学法人大阪大学　近藤

１－３ 成果概要

① 酸化スケール除去工程を省略した熱処理表面処理製造プロセス技術構築

リン酸被膜の完全除去条件の確立および特殊雰囲気焼戻し処理条件を確立し、IIoT による管理システムを構築することで酸化スケール除去工程を省略した熱処理表面処理製造プロセスを実現した。

② IIoT を活用した各工程の監視・測定・制御・記録システムの構築

各工程のサイクルタイム連動化のシステムを構築し、サイクルタイムロス削減の目標を達成した。密着性・耐腐食性の評価を完了し品質面でも向上する目処が得られた。

１－４ 当該研究開発の連絡窓口

〒582-0027　大阪府柏原市円明町 1000-30
株式会社松徳工業所
Tel: 072-977-0112 Fax: 072-977-0122
横尾　臣則　Email: s.yokoo@shotoku-netsushori.co.jp

第2章　本論

2－1　ショットブラスト工程省略の為のスケールフリー・熱処理技術および表面処理技術の開発

(1)リン酸被膜の完全除去条件の技術開発

①目標

リン酸被膜除去装置で処理したボルト表面に残留したリン量を 1%以下を達成する。

②具体的技術開発内容

締結部品を製作するための鋼材は必要な太径に伸線加工されているが、その工程で金型との潤滑材として使用されているリン酸皮膜は締結部品を冷間鍛造した後も強固に締結部品表面に残存・付着している。この場合、焼入れ熱処理した際にリン酸被膜に含まれるリン(P)成分が締結部品の表面から内部に浸透する浸リン現象が起きる。この浸リン現象は高強度締結部品の遅れ破壊感受性を極端に高めることから熱処理前に完全に除去する必要がある。また、熱処理後の表面の清浄度を上げるためにも、事前に完全除去する必要がある。本事業においては、このリン酸被膜除去装置を利用し、ショットブラスト工程の省略を可能とする高強度締結部品表面の清浄度を調査し、適切な酸洗浄処理条件を抽出する。

1)リン酸皮膜の完全除去に資する酸洗浄処理条件(浸漬時間)の適正化

1-1)最短酸洗浄処理(浸漬)時間の確認

量産工程で使用している塩酸水溶液　10%濃度(比較として　20%濃度)・塩酸水溶液中に常温にて SCM435 鋼製ボルトを浸漬し，撹拌状態で 0.5～5 分間の保持後，直ちに引上げて蒸留水にて 30 分間の水洗処理を行う.

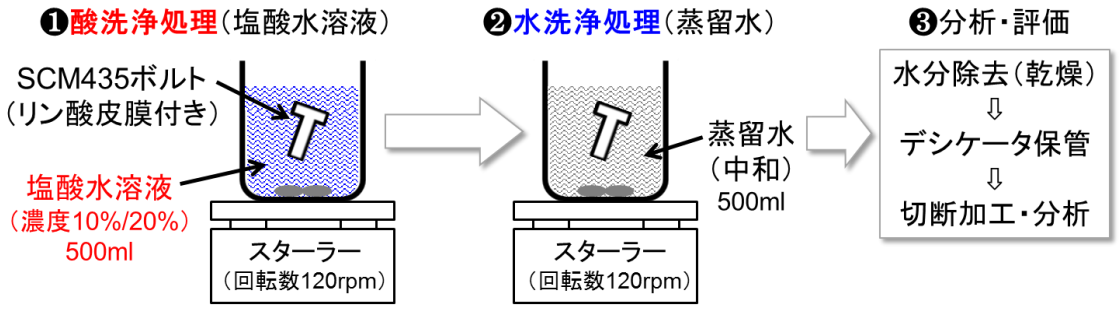


図1. 塩酸水溶液中でのリン酸被膜除去に関するビーカー実験

1-2)実験結果:

○酸洗浄処理時間と塩酸水溶液中のリン酸含有量の関係を分光光度計(モリブデンブルー法による吸光値と濃度の検量線)によりリン酸成分を測定した。結果を図2に示す。

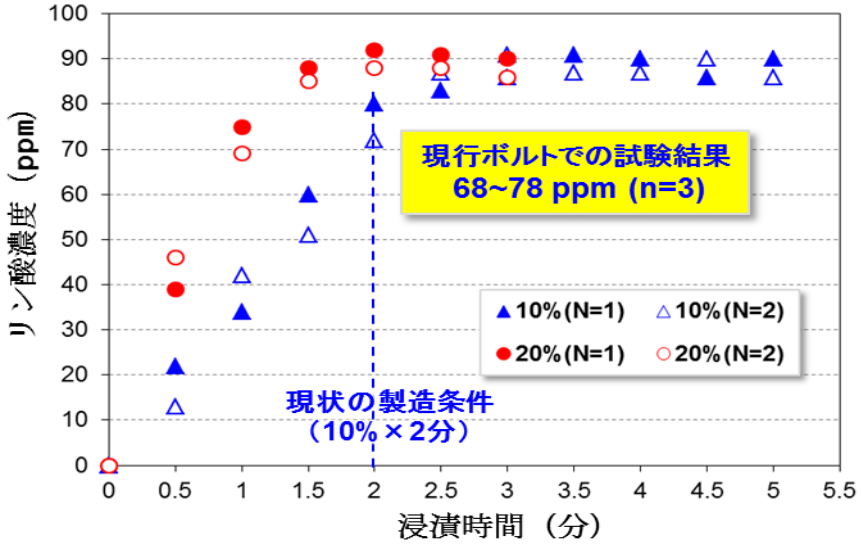


図2 リン酸被膜付きボルトの酸洗浄処理後の塩酸水溶液中のリン酸濃度と浸漬時間の関係

○酸洗浄処理後のボルト表面（頭部・ネジ谷部）の SEM-EDS 分析（皮膜残存状況と酸洗浄時間の関係）を行った。結果を図3に示す。

写真1. 酸洗浄処理後の
SCM435製ボルト

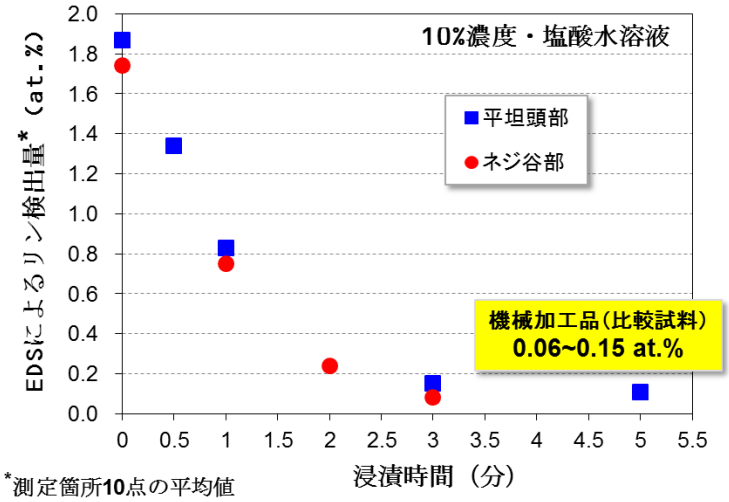


図3 酸洗浄処理後のボルト表面の
SEM-EDS 分析（皮膜残存状況と酸洗浄時間の関係

1-3）実験の結論

・酸洗浄処理時間の増加に伴い，塩酸水溶液中のリン酸濃度の増加及び、ボルト表面に残存するリン成分の減少は，浸漬時間が約3分間以上において飽和する。

・ボルトの平坦頭部とネジ谷部において，残留リン成分に顕著な差異は確認されない．つまり，塩酸水溶液はボルト表面に均一に接触することから，酸洗浄処理法によるリン酸皮膜の分解・除去効果は形状に依存しないといえる．

③リン酸被膜の完全除去（1％以下）条件の設定

・塩酸水溶液（10%濃度）浸漬時間は3分以上とする。

（2）特殊雰囲気焼戻し処理条件の技術開発

①目標

焼戻し炉内の残留酸素量の-1％以下を達成する。

②具体的技術開発内容：

焼入後の焼戻し熱処理を行う加熱炉では、外部から空気が侵入するため、通常は炉内雰囲気には酸素が存在する。このような環境下で熱処理を行うことで、ボルト表面が酸化して酸化スケールが生成する。そして、この酸化スケールは、亜鉛アルミフレーク被覆処理の塗料とボルト表面の密着性を阻害し、その結果、ボルトの耐腐食性が著しく低下するといった問題が生じる。ゆえに、従前の製造工程では「ショットブラスト工程は必須」であった。しかしながら、本事業では基本的な問題に着目し、酸化スケール生成の原因である「焼戻し熱処理炉内に存在する酸素」を酸化スケールが生成しないレベルにまで低減し、それを安価に実現するプロセスの構築を目指す。具体的には、99.9%程度の窒素ガス（PSA式窒素ガス発生装置により空気から回収・分離した廉価な窒素ガス）を焼戻し炉内に流入することで、安価に酸化スケールの発生を抑えることができ、また、還元ガスである水素等を使用すれば酸化スケールは生成しないがコスト高であり、使用方法を誤ると爆発事故発生の恐れがある。これに対して、窒素ガスであれば危険性の伴わない条件で操業できる。このような簡便で廉価な方法により焼戻し炉内の酸素濃度を著しく低減でき、その結果、酸化スケールの生成を抑制し、ボルト製品において高い表面清浄状態が得られる。

1）焼戻し加熱炉内の酸素濃度と再生窒素ガス導入量の相関性の調査

1-1)実験の実施

実際に締結部品焼入後に続く、焼戻し加熱工程における酸化スケールの発生を抑えるために焼戻し炉内に窒素ガスを導入し、焼戻し炉内の酸素濃度の相関性を実験した。

1-2）実験の結果

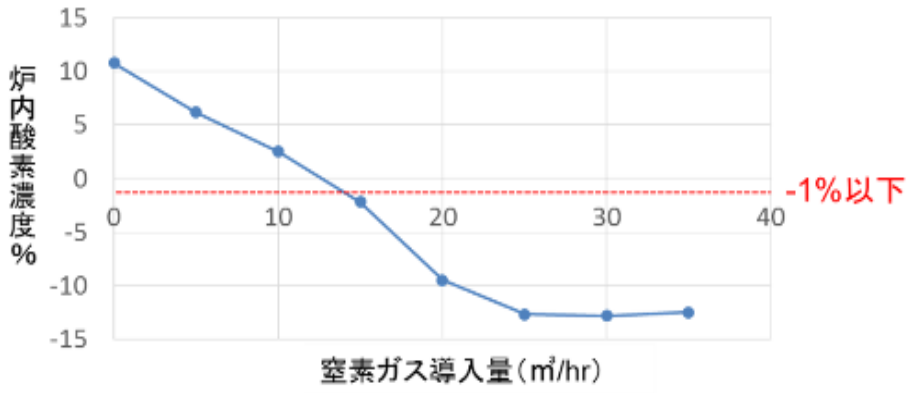


図4. 窒素ガス導入量と炉内酸素濃度の関係

1-3）実験の結論

・図4から判るように窒素ガスの流量を 15m^3/hr 以上導入することで目標（炉内酸素濃度：－1％）を達成できる。

2）窒素ガス導入量の皮膜処理後の被膜の密着性への影響確認

窒素ガス雰囲気による酸化防止が不十分である場合、微細な錆が発生して皮膜の母材への密着性が低下する恐れがある為、確認を実施する。

2-1)実験の実施

サンプルは下地処理後に亜鉛アルミフレーク被覆処理は塗料を浸漬し、振切りその後、乾燥させる工程を2回繰り返すことにより、均一な亜鉛アルミフレーク被覆作成し、テープ剥離性評価も実施する。

2-2)実験の結果

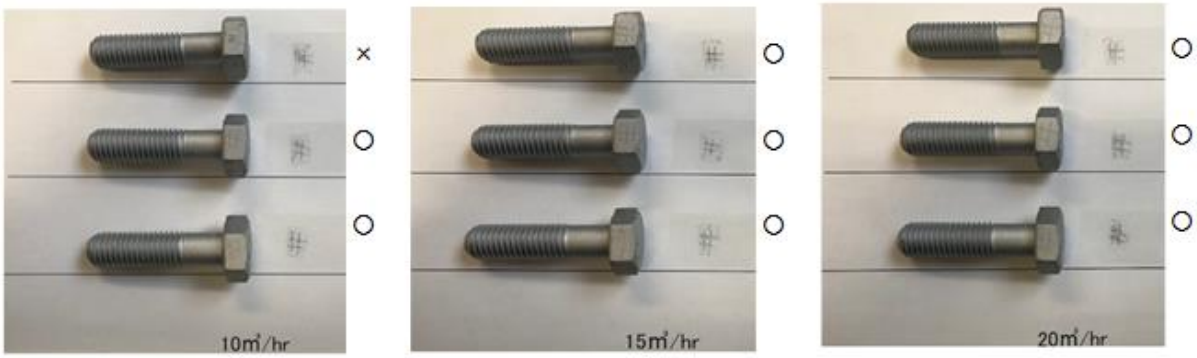


写真 2. テープ剥離試験による密着性評価　試験数：8工程×3本（3 工程抜粋）

2-3）実験の結論

・写真3テープ剥離試験結果から、窒素ガスの流量を 15m^3/hr 以上導入した条件後の皮膜処理では、皮膜の剥離は発生しない。

③適正な窒素ガス導入量の設定

1－3）。2－3）の結論と、工程管理能力及び、省エネ・低コスト化も考慮し、再生窒素ガスの導入量の適正管理範囲として 20±5m^3/hrを設定した。

④導入設備例

写真3
焼戻し炉天井部窒素ガス流入口

写真4
窒素ガス流量計

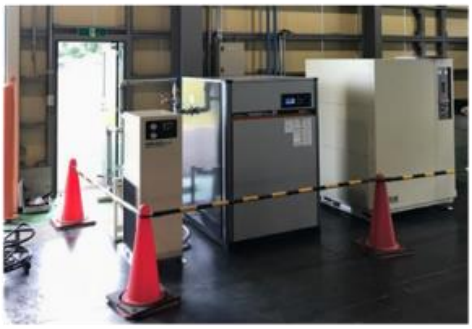


写真5
PSA式窒素ガス発生装置

(3)亜鉛アルミフレーク被覆処理の塗布均一性工法開発および IIoT による管理システムの構築

①目標:

焼戻し熱処理後の製品を亜鉛アルミフレーク被覆処理に搬入するまでの処理開始時間を 12 時間以内で可能な工法を開発し、構築すると共にその操業条件を管理できる IIoT システムの導入と開発を行う。

②焼入焼戻し後の亜鉛アルミフレーク被覆処理の均一性工法開発

既存の表面処理業者の情報によれば、❶スプレー式/❷ディップスピン式/❸静電気引力式の3種類に大別される。ここで、❶スプレー式と、帯電工程(設備)が必要となる❸静電気引力による微細フレークの塗布装置はいずれも高価である。そこで、本事業では焼入焼戻し後の酸化防止の為に直後に亜鉛アルミフレーク被覆処理できる方法として、ディップスピン装置を選定した。

a)予備実験の実施(塗装加工メーカーに塗装依頼)

ショットブラスト工程を省略し、塗布被膜の密着性に問題が無いかの検証のために真空熱処理したボルト製品を対象に塗布加工メーカにて評価サンプル作成を行った。

a-1)実験の実施

ボルト頭部でのテープ剥離試験により皮膜の剥離面積率を測定した。

写真6. ボルト頭部でのテープ剥離試験

a-2)実験結果

・1回の浸漬＋振切り＋乾燥工程品では、約5～10%の剥離面積率であった
・上記工程を2回に増やすと、剥離面積率はゼロ（無剥離）に改善された。

b-1)本実験の実施

表1に示す試験条件を設定して評価サンプルを作成した。

表1、 評価サンプル作成条件

パターン	塗布回数	塗布回転方向	振切り回数	振切り回転方向
A	1	正転のみ	1	正転のみ
B	1	正転・逆転	1	正転・逆転
C	2	正転のみ	1	正転のみ
D	2	正転・逆転	1	正転・逆転
E	2	正転・逆転	2	正転のみ
F	2	正転のみ	2	正転・逆転
G	2	正転・逆転	2	正転・逆転

b-2)試験結果

仕上がり状態を目視確認した。

・パターンA・Bは、塗布ムラが多量に確認された。
・パターンC・Dは、ネジ頭部の十字穴に液だまりが一部確認された。
・パターンEはロット内のバラツキが一部確認された。
・パターンF・Gは共に良好であった。

写真7. 塗布ムラ不良

写真8. 液だまり不良

写真9. 良品

b-3)実験の結論

以上の結果より、パターンFとパターンGで詳細条件設定を進めて行くことにした。

c) 亜鉛アルミフレーク被膜の物性確認

被膜が亜鉛・アルミ成分で構成された事を確認した。

c-1)確認の実施

評価サンプルは下地処理後に亜鉛アルミフレーク被覆処理はb)の結論に準じて塗料を浸漬し、振切りその後、乾燥させる工程を2回繰り返すことにより、均一な亜鉛アルミフレーク被覆作成し、表面をX線分析した。

c-2)確認結果

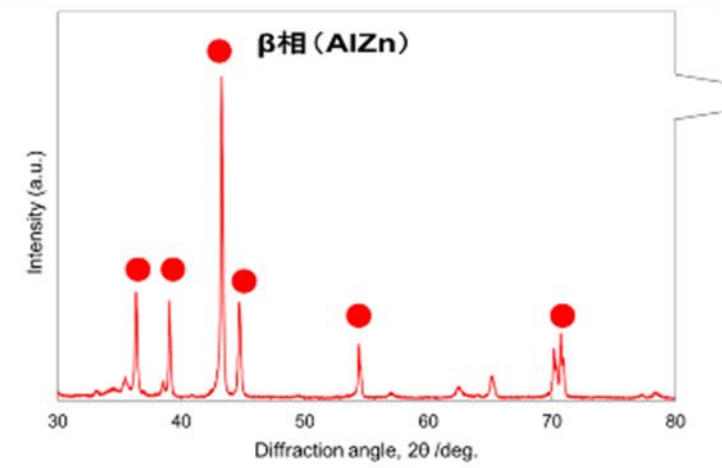


図5. 亜鉛アルミフレーク被覆処理後のX線分析結果

写真10、評価サンプル

c-3)確認の結論

図5のX線回析結果より、ボルト表面には目的としている亜鉛アルミフレーク被膜を構成するAlZn化合物を確認した。

d)各工程の詳細条件の設定

b)の結論より、塗布回数2回・振切回数2回の設定は行えた。またc)の結論より塗布回数2回・振切回数2回の処理で亜鉛アルミフレーク被膜を構成するAlZn化合物を確認した。

各工程の時間・温度等の条件設定を行った。

d-1)実験の実施

ボルト表面に下地処理を行った上で、亜鉛アルミフレーク塗布溶液の粘度と塗布量をディップ時間とスピン時間で調整し、予熱・乾燥温度と加熱時間及び冷却温度と時間のパラメータを上下に振った条件で処理を行い評価用サンプルを作成した。

d-2)実験結果

テープ剥離試験や外観検査により各工程のパラメーターの[適切]・[不適切]の判定評価を行なった。

d-3)実験の結論

工程管理能力及び、省エネ・低コスト化も考慮して、基準値を設定した。

e)導入設備例

写真11
下地処理設備

写真12
亜鉛アルミフレーク被覆処理装置

写真13
乾燥炉

③ IIoT による管理システムの構築

脱リン装置、熱処理装置、下地処理装置、ディップスピン装置、乾燥装置、冷却装置に各センサーや表示モニターを設置し、各製品がどの工程を実施中であるか常時監視できるシステムを設置した。

表2. 工程の流れ

脱リン処理	⇒	熱処理		⇒	亜鉛アルミフレーク被覆処理				
	A	焼入	特殊雰囲気焼戻し	B	下地処理	塗布	スピン	乾燥	冷却

1）工程間の時間管理の設定

酸化スケール発生を無くし酸化スケール除去のショットブラスト工程を無くす為には、脱リン処理－熱処理（A）、熱処理―被膜処理（B）間の工程間の時間管理も必要となる。下記の様に設定した。

(A)リン酸被膜の完全除去後の焼入炉への装入時間の設定

リン酸被膜が除去された状態は、空気中保管では錆びやすい。錆の発生を無くす必要がある。錆が発生しない時間間隔30分以内に焼入炉への装入する事とした。

(B)特殊雰囲気焼戻し後、皮膜処理工程までの時間の設定

再生窒素ガス中で焼戻し熱処理を施したボルト表面は酸化スケールが無い非常にクリーン（反応活性）な状態になっており、時間が経過すると錆が発生する。

一旦、錆が発生すると、亜鉛アルミフレーク被覆処理の塗布均一性が低下する。

このようなボルトの表面性状変化に起因する品質問題を解決するため、焼戻し熱処理完了後、過去からの経験実績値である12時間以内に亜鉛アルミフレーク被覆処理を開始する必要がある。これらの結果を踏まえ、量産工程を想定した焼戻し熱処理後から亜鉛アルミフレーク被覆処理を開始するまでの処理開始時間を「防錆油なしで錆が発生しない12時間以内」と設定することにした。

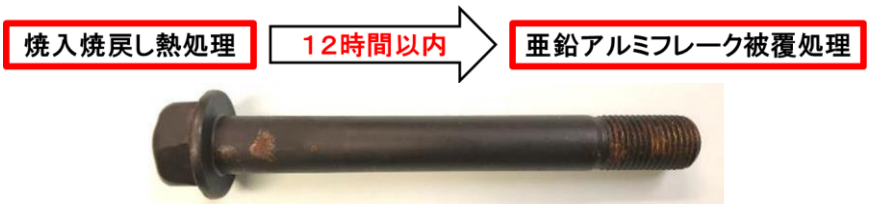


写真14. 錆不良品(焼入焼戻し後12時間以上放置)

2)各工程のサイクルタイム連動化のシステム構築

熱処理後、下地処理するまでの時間管理を設備業者とIIoTシステムを構築し、実施した。ロット毎の焼戻し完了の時刻を常時監視するために供給開始からワーク監視のために常時監視センサーを設置し、下地処理開始まで12時間以内を遵守するためにPCモニターにロット毎の焼戻し完了時刻と塗装下地処理開始タイムリミットを表示し、現場でも状況把握できるように取り組んだ。

各処理工程の終了時刻と経過時間と塗装下地処理開始タイムリミットを表示し、連続10ロット処理し、目標を達成した。

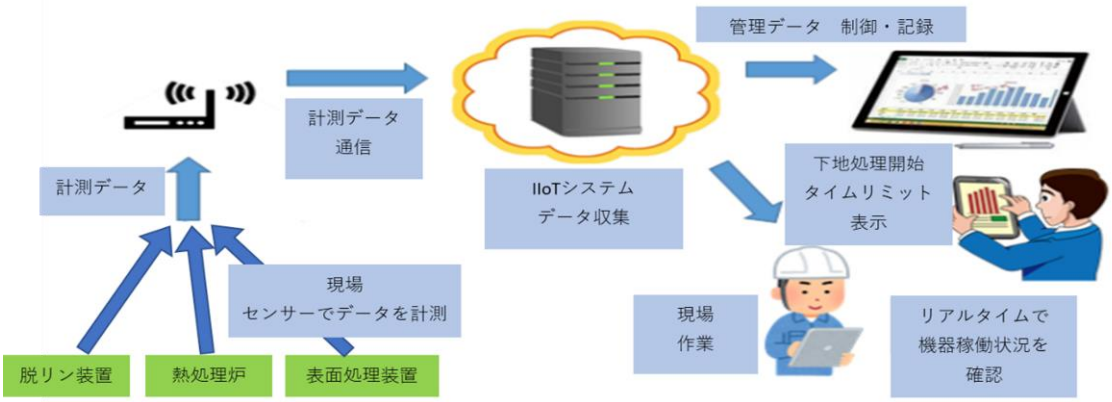
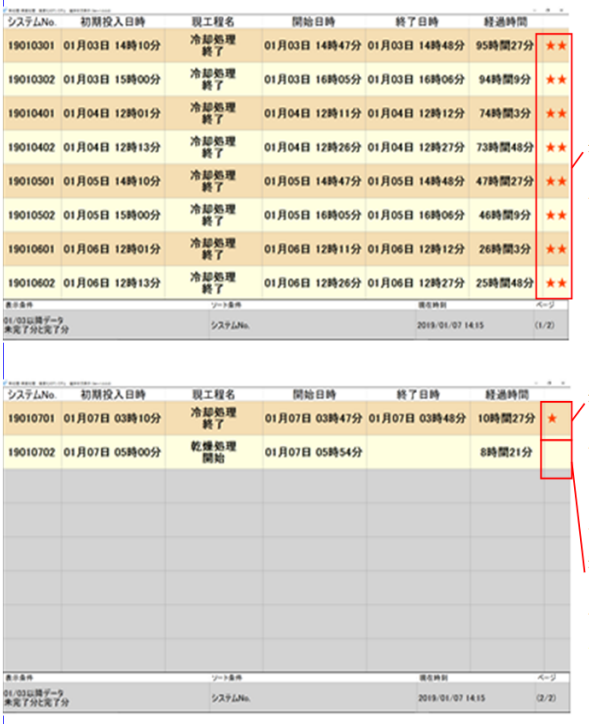


図6. IIoTイメージ

<警告マークについて>



システムNo.	初期投入日時	現工程名	開始日時	終了日時	経過時間	
19010301	01月03日 14時10分	冷却処理 終了	01月03日 14時47分	01月03日 14時48分	95時間27分	★★
19010302	01月03日 15時00分	冷却処理 終了	01月03日 16時05分	01月03日 16時06分	94時間9分	★★
19010401	01月04日 12時01分	冷却処理 終了	01月04日 12時11分	01月04日 12時12分	74時間3分	★★
19010402	01月04日 12時13分	冷却処理 終了	01月04日 12時26分	01月04日 12時27分	73時間48分	★★
19010501	01月05日 14時10分	冷却処理 終了	01月05日 14時47分	01月05日 14時48分	47時間27分	★★
19010502	01月05日 15時00分	冷却処理 終了	01月05日 16時05分	01月05日 16時06分	46時間9分	★★
19010601	01月06日 12時01分	冷却処理 終了	01月06日 12時11分	01月06日 12時12分	26時間3分	★★
19010602	01月06日 12時13分	冷却処理 終了	01月06日 12時26分	01月06日 12時27分	25時間48分	★★

警告マーク(★★)が出ているシステムNoは
次工程の処理を行うまでの最大経過時間を越えています。
最大経過時間=12時間(アプリ設定)

システムNo.	初期投入日時	現工程名	開始日時	終了日時	経過時間	
19010701	01月07日 03時10分	冷却処理 終了	01月07日 03時47分	01月07日 03時48分	10時間27分	★
19010702	01月07日 05時00分	乾燥処理 開始	01月07日 05時54分		8時間21分	

警告マーク(★)が出ているシステムNoは
次工程の処理を行うまでの最大経過時間が近づいています。
最大経過時間接近時間=10時間(アプリ設定)
早急に次工程の処理を行う必要があります。
警告マークが出ていないシステムNoは
次工程の処理を行うまでの最大経過時間まで
十分に時間があります。

図7. IIoT 表示例

3)導入設備例

写真15. IIoT 機器

写真16. 現場表示機器

2－2 耐遅れ破壊性・耐腐食性能の技術的裏付けデータの収集と各現象・機構解明

(1)遅れ破壊感受性とリン酸皮膜残存量とのメカニズムの解明

ボルトの遅れ破壊はリン酸皮膜のリンが焼入加熱中に鋼に浸み込む「浸リン現象」により、感受性が高まり、発生しやすくなると言われている。そこで、日本工業規格にも規定されている「締結部品用―水素ぜい化検出のため、予荷重試験―平行座面による方法」(JIS B 1045)により、技術的裏付けデータの収集を行い、遅れ破壊試験で遅れ破壊発生率 1ppm以下を達成する。

1) 実験の実施

遅れ破壊評価の加速試験として、10%塩酸水溶液中にボルトを浸漬した後、規定の締付トルクより、10%高く締め付けたボルトの締付試験(写真17)を実施した。

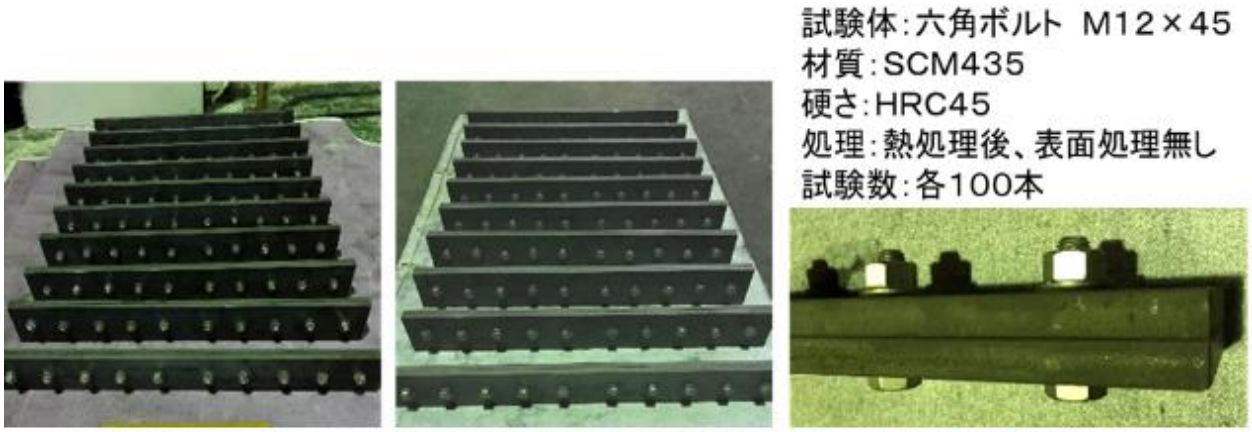
2) 実験の結果

無処理(脱リン処理を施していない)のボルトは破断数2本であり、脱リン処理ボルトでは破断数0本であった(写真18)。

3) 結論

本事業の目標である遅れ破壊発生率0%(破壊しない)を、脱リン処理で達成した。

このように2－1(1)で設定した酸洗浄条件を用いてリン酸被膜を完全除去(1%以下)した結果、遅れ破壊加速試験においてその効果を検証できたことから、リン酸被膜残量の影響を調査する必要性はないと判断した。



破断無し(脱リン処理実施)　破断有り(脱リン無処理実施)　締付状況

写真17. ボルトの締付試験

写真18. 締付試験結果

(2)亜鉛アルミフレーク被覆処理後の密着性・耐腐食性評価

本開発プロセス技術であるリン酸被膜除去処理と窒素ガス雰囲気での焼戻し熱処理、およびショットブラスト工程の省略を行った各ボルト製品への亜鉛アルミフレーク被覆処理後の耐腐食性に関して、塩水噴霧試験法(濃度:3%NaCl、温度:30℃、pH:7.8～8.0、試験時間:1,000hr)を用いて、基材との密着性と耐腐食性を同時に評価・解析する。

1) 実験の実施

脱リン処理→熱処理→表面処理を行った 100 本のボルトサンプルの塩水噴霧試験を実施する。

2)実験の結果

塩水噴霧試験 1,000 時間経過後、ボルト表面を目視観察した結果、皮膜の剥離・亀裂損傷はなく、また、腐食現象も観察されなかった。

4) 結論

亜鉛アルミフレーク被覆処理が実用製品において有効に作用することを実証した。

通常雰囲気での密着性の評価は、2－1(2)でテープ剥離試験を実施し、焼戻し炉への窒素ガス流量管理により剥離がない条件を設定出来る事を確認している。

以上の結果より、本事業の目標値である密着性と耐腐食性に関する目標値を達成した。

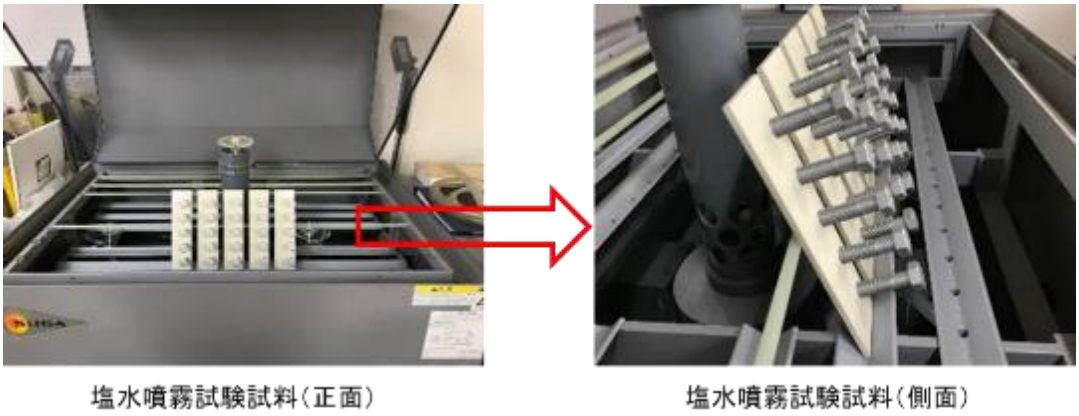


写真19. 塩水噴霧試験機への試料設置状況

2－3 IIoT を活用した各工程におけるリアルタイムでの監視・測定・制御・記録システムの構築

脱リン装置、熱処理装置、下地処理装置、ディップスピン装置、乾燥装置、冷却装置に各センサーや表示モニターを設置し、各工程の異常状態を常時監視できるシステムを設置した。

最終工程の表面処理装置の機器トラブルで工程が緊急停止した時は前工程の脱リン工程内の酸洗いで長時間、製品を浸漬することになり、製品表面が荒れる等の不具合が発生する。また、各工程の処理条件が設定値から外れる等の異常が発生した場合も処理開始できない。このように各連続工程（脱リン処理→焼入焼戻し→亜鉛アルミフレーク被覆処理）での量産処理において、前後工程での処理状況が管理できない場合、待ち時間や設備の空き時間が発生し、品質バラツキや生産性の低下に繋がる。

これらの課題を解決するために2－1（3）のシステムと同様に IIoT を活用し、製品の処理状況と各工程の運転条件を監視・測定・記録・制御し、社内 LAN を基本とした IIoT 技術を活用した計測機器および管理システムを導入した。

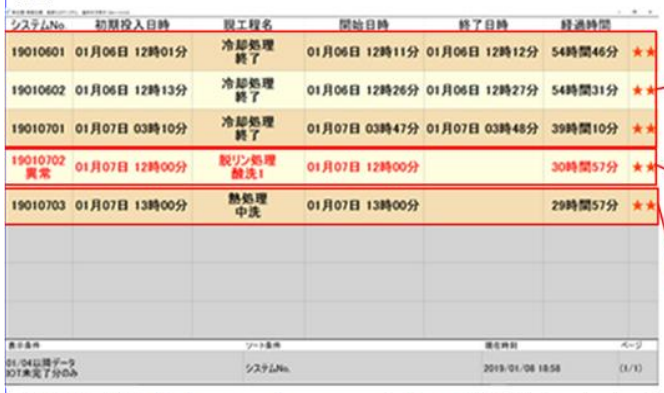
各設備業者の協力のもと、製品ロットの処理開始・終了時間を管理できるシステムと温度・圧力・濃度等の「情報」を常時監視できるセンサー等を導入した。これらを利用して設備稼働や異常発生の情報を監視・測定システムで「情報」をリアルタイムに把握し、品質安定化・生産性向上を目指し、各設備の機器状態をセンサー等で常時監視・測定・記録・制御することにより、機器異常の前兆を事前に把握し、予防することで設備停止等を防止し、待ち時間・空き時間の無駄を削減し、目標値を達成することができた。

表3. 設備の管理パラメーター例

				温度	回転数	管理基準
焼戻し炉	温度計	ゾーン	1	○		±10℃
			2	○		±10℃
			3	○		±10℃
			4	○		±10℃
	ファン	ゾーン	1		○	±10%
			2		○	±10%
			3		○	±10%

異常が発生した場合

(例)



システムNo	初期投入日時	現工程名	開始日時	終了日時	経過時間	
19010601	01月06日 12時01分	冷却処理 終了	01月06日 12時11分	01月06日 12時12分	54時間46分	★★
19010602	01月06日 12時13分	冷却処理 終了	01月06日 12時26分	01月06日 12時27分	54時間31分	★★
19010701	01月07日 03時10分	冷却処理 終了	01月07日 03時47分	01月07日 03時48分	39時間10分	★★
19010702 異常	01月07日 12時00分	脱リン処理 酸洗1	01月07日 12時00分		30時間57分	★★
19010703	01月07日 13時00分	熱処理 中洗	01月07日 13時00分		29時間57分	★★

表示条件: 01/04以降データ 30T未完了分のみ　ソート条件: システムNo.　現在時刻: 2019/01/08 18:58　ページ: (1/1)

このシステムNoは異常が発生していません
⇒対応の必要はありません。

このシステムNoは異常が発生しています。
⇒下記の手順へ進んでください。

このシステムNoは異常が発生していません
⇒対応の必要はありません。

※異常が発生しているシステムNoは該当行の文字がすべて赤色で表示されます。

図8. 異常発生時の表示例

最終章　全体総括

３．１　研究成果のまとめ

平成 28 年度からの 3 年間、一般財団法人　大阪科学技術センターを事業管理機関として、株式会社松徳工業所・国立大学法人大阪大学が研究プロジェクトを組み、研究結果として下記の目標が達成できた。

・酸化スケール除去工程を省略した熱処理表面処理製造プロセス技術の構築
・IIoT を活用した各工程の監視・測定・制御・記録システムの構築

また付加的な成果として、防錆処理において人体に有害なクロムを使用しないクロムフリーの被膜技術を開発でき、環境面にも優しい製品の供給が可能となった。

さらにワンストップの加工工程によりリン酸被膜除去処理・熱処理・防錆処理が連続工程で行え、従来の専門加工工場間のトラック輸送が無くなり、エネルギー問題・環境問題・運転手を含む人材不足問題等の低減にも貢献が行える様になった。

３．２　補助事業の成果に係る事業化展開について

(1)想定している具体的ユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

既存顧客であるボルトメーカ・ハウスメーカ・建機メーカなど、幅広い製品分野への高強度締結部品サンプル出荷を始める。また、これまでの強度向上のための熱処理の委託加工を受けていた自動車・建機部品・建築金物メーカに対して、各部品の耐腐食性等の向上を可能とする当該被覆技術を紹介し、サンプル出荷を行うことで新規市場への参入を図る。このように高強度締結部品（ボルト・ネジ・ナット）分野に関しては、現在、熱処理加工を受注している顧客への優先的な販売を行える環境にあると共に、本技術に多大な興味と期待を有するエンドユーザー（自動車部品メーカやゼネコン）への技術紹介を通じて、新規の高強度締結部品メーカへの紹介・販売ルートへの構築に繋げる。また、日本ねじ工業会や日本熱処理工業会などの各種学会に積極的に参加して発表を行い、導入成功事例等を紹介し、ネットワーク形成と販路拡大を進める。

(2)事業化見込み

本事業成果を高強度締結部品市場に投入する社会的な意味合いは大きく、高強度締結部品の耐久性・信頼性の大幅な飛躍・向上に繋がることで、特に、建物や橋梁などの構造物や道路・トンネルなどのインフラ関連を含めて、安全・安心な社会基盤の構築に寄与するものと確認している。高強度締結部品の加工工程を一元管理することにより、重大不具合が発生した場合でも、責任の所在がはっきりしているため、原因究明や再発防止対策も迅速に対応できる。また、ネジやボルトの省エネ・省人化といったプロセスイノベーションを意識した自由度の高い加工工程と、生産性の顕著な改善による低コスト化に繋がる技術であり、川下ニーズである低コスト・短納期に大きく貢献することが期待できる。

この結果、海外製品との競争にも十分対応することができ、日本の「ものづくり」の更なる国際競争力向上と差別化を図ることができる。このような成果を幅広い分野に展開するため、今後も川下産業、関連産業、公設試験研究機関、大学等と積極的に連携し、事業化に向けたユーザー・市場ニーズを把握しつつ、独創的・実用的な技術開発を行う。