

平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業

部材結合用の新素材『超微細粒鋼鋼線』の連続生産に向けての研究開発」

研究開発成果等報告書

平成21年 3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 大阪精工株式会社

目次

| | |
|---|----|
| まえがき | 2 |
| 第1章 研究開発の概要 | 2 |
| 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標 (高度化目標・技術的目的) | 2 |
| 1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制・研究者氏名・協力者) | 5 |
| 1 - 3 成果概要 | 9 |
| 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口 | 11 |
| 第2章 本論 - 研究開発の内容及び成果等 | 12 |
| 2 - 1 データ収集から、商品化に向けての製品化に関する研究 | 12 |
| 2 - 2 超微細粒鋼鋼線の連続生産技術の研究 | 13 |
| 最終章 全体総括 | 18 |
| 3 - 1 研究開発成果および今後の課題 | 18 |
| 3 - 2 研究発表・講演・出展状況 | 19 |

はじめに

国内はもとより世界初の『部材締結用の新素材「超微細粒鋼鋼線」の連続生産に向けての研究開発』を中小企業のものづくり基盤技術として革新的かつハイリスクな研究開発を行い、結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下の超微細粒鋼鋼線の連続生産と部材結合品の高強度化(引張強さ 1000MPa 以上)を可能とする新素材を提供し、川下製造業者等の抱える課題及びニーズに応えることを目的とする。

超微細粒鋼は、大学、公設試、民間企業等で研究開発が行われているものの、現在、超微細粒鋼鋼線として連続生産、量産化されているものは存在していない。

今回、独立行政法人物質・材料研究機構(以下:NIMSと云う)の開発した超微細粒鋼(超鉄鋼)は、製造を実現できる優れた鉄系新材料であり、現在、NIMSでは、結晶粒度 $0.5\mu\text{m}$ の超微細粒鋼の創製に成功、焼入・焼戻し不要で従来鋼の2倍の強度を実証し、 1000MPa の引張強度、液体窒素温度でも耐える靱性が得られている事に着目し、NIMSとの連携・技術支援で、2年間大阪精工(株)本社工場既存の開発設備を使用し、超微細粒鋼鋼線の連続生産化に向けての温度制御と加工率及び結晶粒の関係、使用する素材と強度の関係を短尺(20m程度)での試作を繰り返し、連続生産の可能性が非常に高いことがわかった。この事から、平成18年度戦略的基盤技術高度化支援事業に採択され、現行の大阪精工(株)開発設備のロール圧延およびロール伸線技術を取入れ研究開発に取組んだ。また、量産性を考慮した製造プロセス検討にも着手した。

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 研究開発の背景・研究目的

部材結合品は自動車分野、工作機械・建築機械分野、情報家電分野及び事務機器分野、建物・プラント及び橋梁分野、ロボット分野等、日本で生産されている冷間圧造用鋼線120万ton/年のうち約40万ton/年が部材結合品として使用されており、日本の企業産業を支えている。

自動車、情報家電分野の重要部品においては、国内で部材結合品の製造を行い輸出している。しかし、日本企業の海外進出が更に進み、材料の海外調達が急速に進んでいる。そのため、海外に拠点を置いている日本企業も現地で鋼線を供給するようになると考えられる。また、部材結合品における低価格の海外製品の流入は年々増加しており、国産の部材結合品の生産量減少に多大な影響を与えている。

現在の部材結合品の新素材研究開発は「素材製鉄メーカーと自動車メーカー」で行っており、Ni, Cr, Mo, B, Ti, Nb等の合金元素を添加した高強度部材結合品素材の研究が殆どである。

軽量部材結合素材では、チタン・チタン合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金等があるが、現状はコスト面、強度面において課題があり、ユーザーニーズへの対応には多くの問題を解決する必要がある。

今までは部材結合品に関して、新素材の研究開発は素材成分系の研究開発が主体であり、中小企業の参加または関与することがないのが現状である。

そこで、中小企業のものづくり基盤技術として『部材結合用の新素材「超微細粒鋼鋼線」の連続生産に向けての研究開発』により、世界初の超微細粒鋼鋼線(引張強さ: 1000MPa 以上、結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下)の連続生産技術を確立して川下製造業者(部材結合メーカー)に提供することにより、抱える課題及びニーズである、「新素材の部材結合」「高強度化(軽量化)」「環境負荷の低減」等の部材結合メーカーでの独自商品の開発と商品化に結び付けることを目的として研究開発を行った。

1-1-2 研究開発の高度化目標

平成 18 年～平成 20 年度の、自動車分野、工作機械・建機機械分野、情報家電及び事務機器分野建物、プラント及び橋梁分野、ロボット分野の状況及び高度化目標。

- 1) 自動車分野では、自動車を取り巻く環境・求められる機能と技術課題としては、「環境」・「安全」・「快適性・デザイン」・「モノ造り」・「利便性」・「コスト」継続して求められている。特に今後はハイブリット車・電気自動車の地球環境に優しい車作りが主流となる中、「高強度化による軽量化の寄与」・「環境負荷の低減」に結びつく超微細粒鋼の商品化は私たちの思い以上に期待が高く、具体的な部品名の要望が出てきている事から、ユーザーの抱える課題及びニーズに応えるべく商品化の実現化に向け研究開発を行っていく。

- 2) 工作機械・建設機械その他産業機械分野においても世界的な金融危機の影響から業界の活気が低迷しているものの環境問題を含め企業としては新しいもの求めていることから国内はもとより、海外を含め超微細粒鋼鋼線の使用用途の可能性も高くなる事からユーザーニーズに応えるべく商品化の実現化に向け研究開発を行っていく。

- 3) 情報家電及び事務機器分野においては、日本企業の海外進出が進む中、国内大手情報家電メーカーが国内 2 箇所（堺市、姫路市）で大型工場の建設が始まり、景気後退の中、小ねじ、マイクロねじの国内需要の期待をしたい。
この分野に関しては、「自動車分野」・「工作機械・建設機械その他産業機械分野」に比べ、景気低迷も若干であるが少なく、また期待はできる。
海外においては、携帯電話、デジタルカメラ、ゲーム機等の需要は極端な減少は起きておらず、海外では精度の高いマイクロねじの製造も出来ていない。このことから、超微細粒鋼のマイクロねじ製品はユーザーから「環境負荷の低減」において評価が高く、早期商品化の要望が強く望まれており、ユーザーの抱える課題及びニーズに応えるべく迅速な商品化を実現化していく。

- 4) 建物、プラント及び橋梁分野においては、耐震強度偽装問題を受けた建築基準法改正に伴い、着工前審査（建築確認）から住宅メーカーから強度指定の材料問合せが来ており、耐震用対策での高強度、高靱性の部材結合品は必ず要求が出てくる。
また、「次世代ゼロ・エネルギー住宅」から太陽光発電システム等が見直されている事から、この分野での超微細粒鋼鋼線の活路を見出し、ユーザーの抱える課題及びニーズに応えるべく商品化の実現化に向け研究開発を行っていく。

- 5) ロボット分野においては、国内は低迷しているものの、海外での産業用小型ロボット市場は海外需要が好調を維持している事から、この点をターゲットとして進めて行く。ロボットメーカーも今後更に高度処理技術の実用化で利用領域の拡大が望まれる事から、超微細粒鋼の部材結合品は小型化ロボット需要に販路を見出し、ユーザーの抱える課題及びニーズに応えるべく商品化の実現化に向け研究開発を行っていく。

1-1-3 研究開発の技術的目標

1) データ収集から商品化に向けての川下製造業者及び最終ユーザーとの製造製品の絞込みと製品仕様の作成。

- ・平成 18 年度から平成 20 年度のデータ収集から具体的製品の絞込み。
- ・川下製造業者（部材結合メーカー）及び最終ユーザーと商品化に向けての製品仕様の作成。
- ・製品仕様に合わせた素材の選択と超微細粒鋼鋼線製造 QC 工程表の作成。

2) 「新素材」の部材結合用超微細粒鋼鋼線の製造。

引張強さ 1000MPa 以上、結晶粒度 1 μ m 以下、合金元素の添加していない素材（炭素量 0.01～0.45%）を使用し、温間制御圧延によって、4 と 12 超微細粒鋼鋼線の商品化に向けた連続生産技術の確立。

- ・平成 19 年度、3 の超微細粒鋼鋼線からマイクロねじ製造に成功。但し、品質（表面きず、結晶粒度のバラツキ）、強度不足及びユーザーからのサイズ拡大要望があり、平成 20 年度は素材 8 から 4 のサイズ拡大を行い商品化に向け品質の安定した製造方法の確立を行う。
- ・12、4 の製造技術を基盤に、商品化に向け品質の安定した製造方法の確立を行う。

3) 商品化に向けての部材結合製品製造の評価と最終ユーザーの評価。

- ・川下製造業者（部材結合メーカー）の製品仕様に基づいたねじ・ボルト製品の評価。
- ・最終ユーザーの製品仕様に基づいたねじ・ボルト製品の評価。
- ・ねじ、ボルト製品の製造プロセスの作成。
- ・ユーザーニーズに合った製品特性、環境面、コスト面等を含めた顧客満足度の評価。
マイクロねじに関しては、上記評価を出来るだけ早く行い商品化に結び付けていく。
一方、自動車関連のボルト製品は重要保安部品用途の関係から、製品の品質特性は実車テストに近い試験項目が予測され、共同開発試験を行う事になれば評価には時間がかかり、最終結果は支援期間を過ぎる可能性が高い。
また、自動車メーカーで採用になったときの生産設備の検討も必要である。

4) 商品化に向けての量産体制の検討。（ユーザーの要求する生産体制の検討）

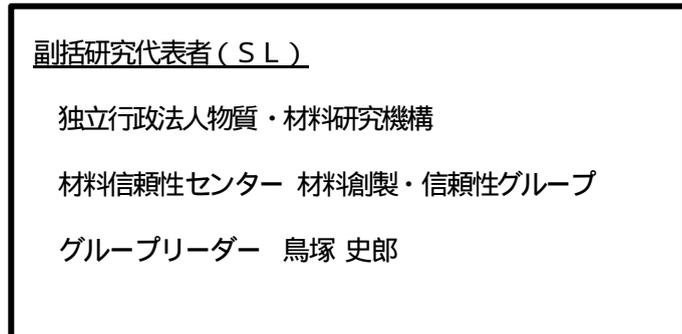
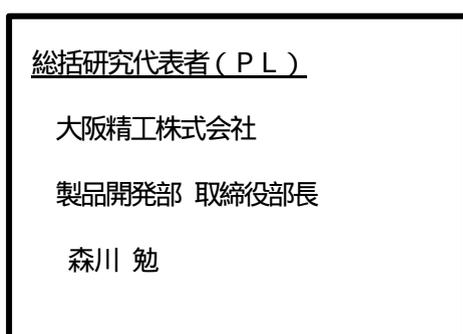
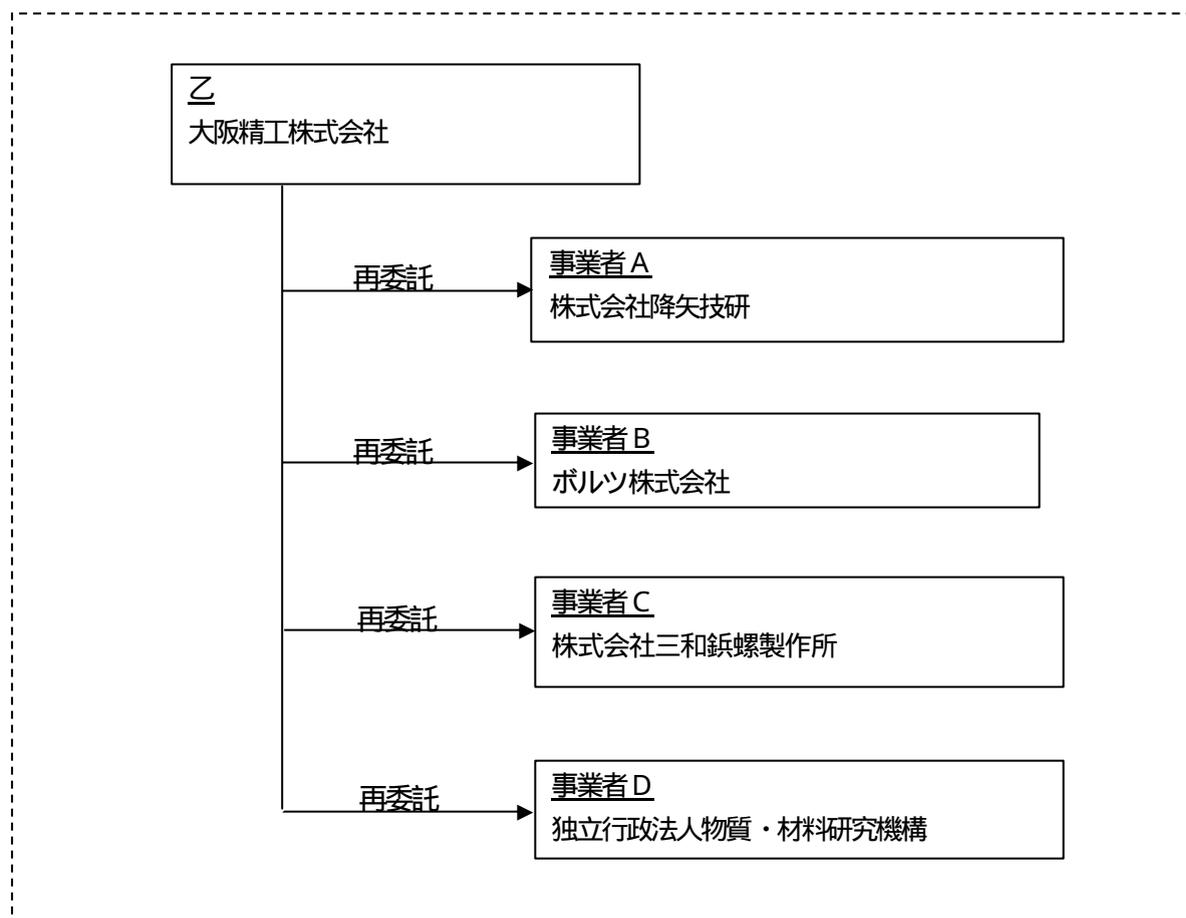
- ・現行の 4 設備の超微細粒鋼鋼線生産能力の把握。（ユーザーの受注量、コスト面等の把握）
- ・現行の 12 設備の超微細粒鋼鋼線生産能力の把握。（ユーザーの受注量、コスト面等の把握）
自動車部品採用となると 1 部品で数百 Ton の可能性があり設備、管理等の検討が必要である。

5) 部材結合用の新素材「超微細粒鋼」の連続生産と超微細粒鋼鋼線を使用したねじ・ボルト製品に関する特許出願。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

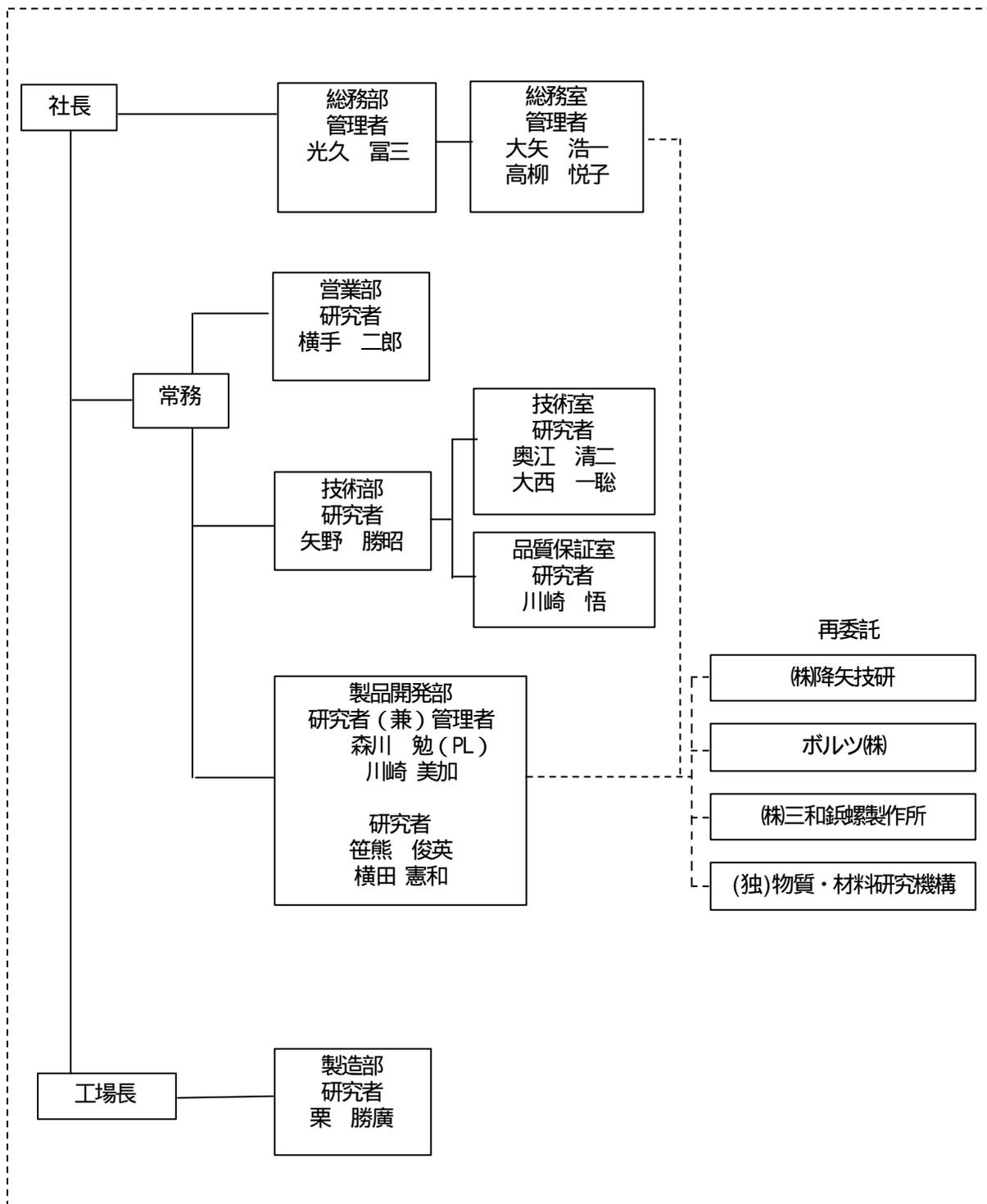
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

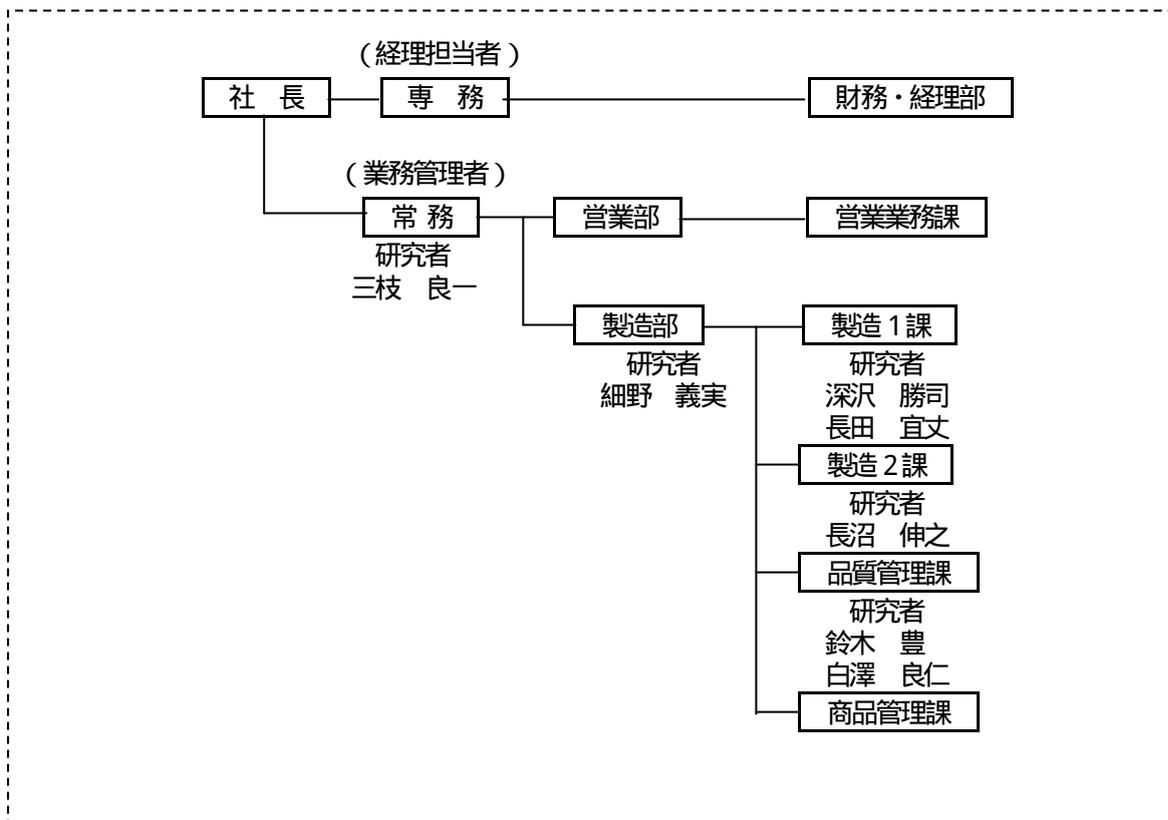
事業管理者

「大阪精工株式会社」(管理者：5名 ・ 研究者：9名 内2名管理者兼務)

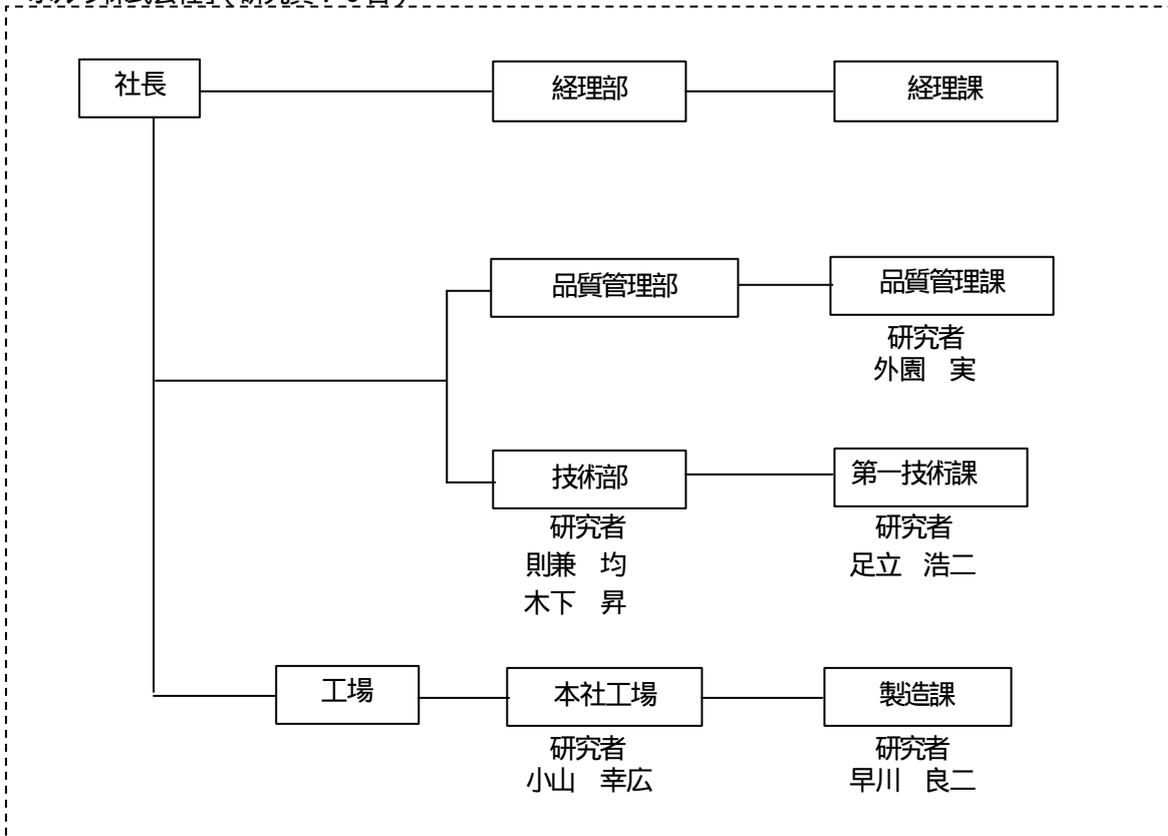


(再委託先)

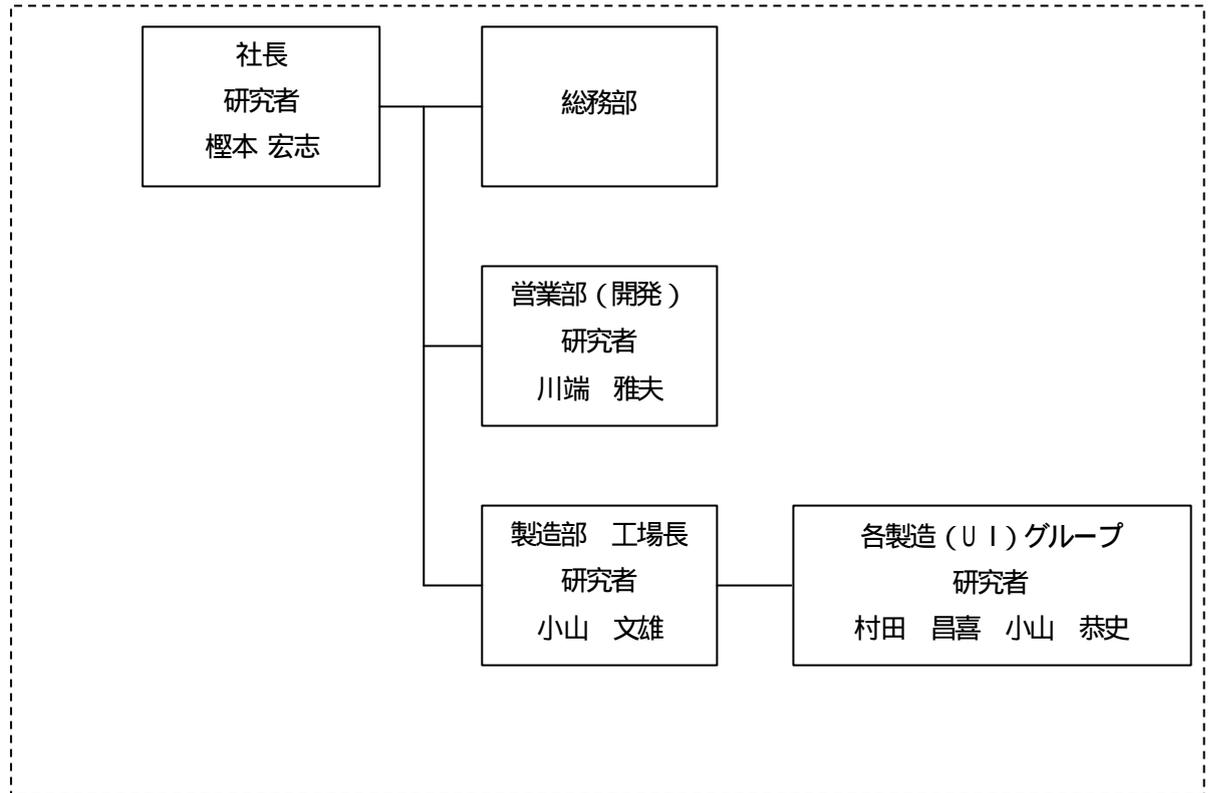
「株式会社降矢技研」(研究員：7 名)



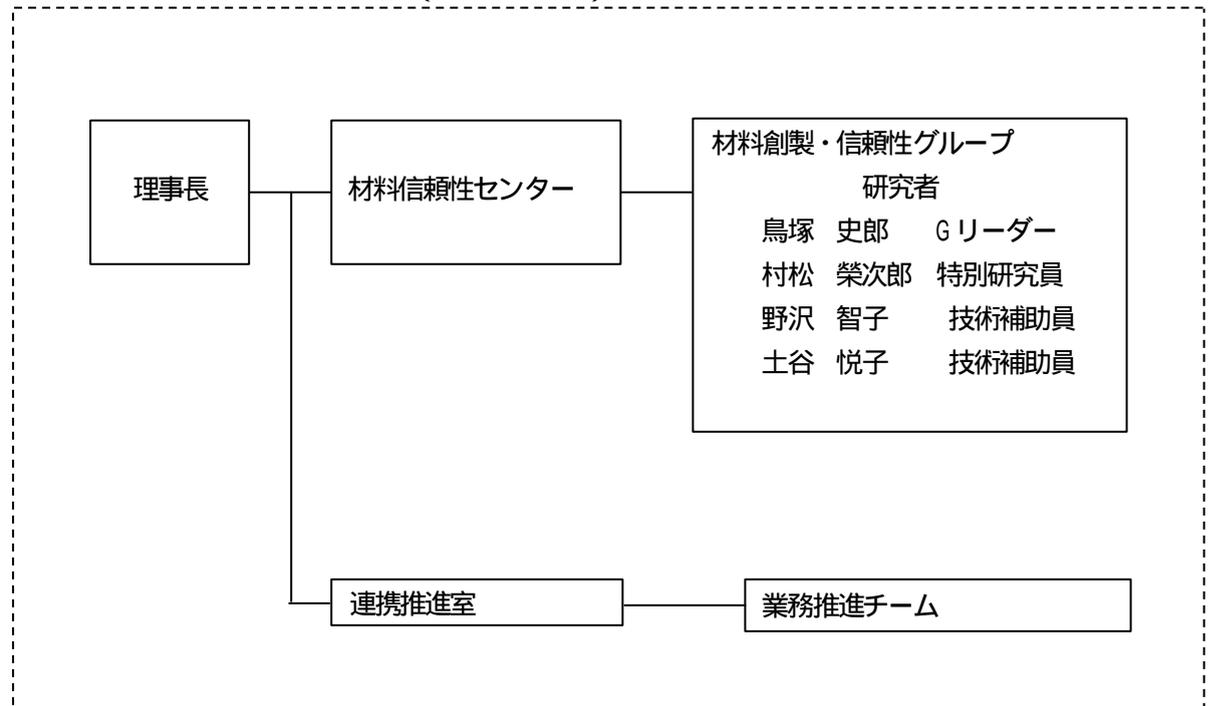
「ボルト株式会社」(研究員：6 名)



「株式会社三和鋌螺製作所」(研究員：5 名)



「独立行政法人物質・材料研究機構」(研究員：4 名)



1-3 成果概要

1-3-1 研究開発目標

『部材結合用の新素材「超微細粒鋼」の連続生産に向けての研究開発』にて、世界初の超微細粒鋼鋼線(引張強さ：1000MPa 以上、結晶粒度 1 μ m 以下)の連続生産技術を確立し、川下製造業者(部材結合メーカー)に提供することにより、抱える課題及びニーズである、「新素材の部材結合」・「高強度化(軽量化)」・「環境負荷の低減」等の部材結合メーカーでの独自商品の開発と商品化を実現化する。

炭素量 0.01~0.45%、合金元素を添加していない冷間圧造用の炭素鋼を使用し、温間制御加工を行うことにより、引張強さ 1000MPa 以上、結晶粒度 1 μ m 以下の特性を持った超微細粒鋼鋼線の連続生産の技術の確立。生産性を考慮し、最終圧延速度 30m/min 以上で安定した連続生産を行う。

商品化に向けての部材結合製品製造の評価と最終ユーザーの評価。

1-3-2 達成状況

| 項目 | 達成内容 |
|----|---|
| | <p>1. 小ねじ、マイクロねじ用超微細粒鋼鋼線の連続温間制御圧延技術の研究開発 連続生産技術を確立し目標の結晶粒度 1μm 以下達成。 炭素量：0.02%以下 0.8 で引張強さ 1200MPa。(参考 0.24 で引張強さ 1935MPa) 連続温間制御圧延最終速度 37.72m/min で目標達成。 課題であった温度管理、ロール形状による結晶粒度のバラツキに関しては安定。但し、表面疵に関しては 0.02mm 以下の改善を行ったが更なる品質向上のため 0.01mm 以下目標に向け改善が必要である。</p> <p>2. ボルト用「超微細粒鋼鋼線」の連続温間制御圧延技術の研究開発 連続生産技術を確立し目標の結晶粒度 1μm 以下達成。 炭素量：0.10% 結晶粒度 1μm 以下 6.0mm 台で引張強さ 900MPa 以上達成。 (炭素量：0.45%：1200MPa 可能) 連続温間制御圧延にて圧延速度は、小ねじ、マイクロねじと同等の最終速度は可能。</p> <p>3. 環境負荷低減。(現行より CO₂ 排出量 30~40%削減)</p> |
| | <p>1. 商品化に向けての部材結合製品製造の評価と最終ユーザーの評価。</p> <p>1) マイクロねじ(0.80mm：M1.0 用~ 1.67mm：M2.0)の製造技術評価。 超微細粒鋼鋼線のねじ加工の金型寿命は、パンチ金型寿命が現行の SWCH16A と比較して約 1 割程度の低減、他の金型寿命は現行の金型寿命に比べ大きな差は出ていない。 金型寿命向上は、今後量産での課題テーマであるが、超微細粒鋼鋼線は引張強さ：900~1000MPa と、SWCH16A 球状化組織材(引張強さ：400 MPa)に比べ、引張強さが約 2.5 倍高いのに比べ、思ったより金型寿命の低減が少ないのは、使用材質が炭素量 0.02% 以下で変形抵抗が低いことが影響していると推察される。 ねじ形状に関しては、現行の SWCH16A 球状化組織材に比べ差は見られない。 転造加工性、形状に関しても、現行の SWCH16A 球状化組織材に比べ差は見られない。 マイクロねじ形状に関しての品質的差は見られない。</p> <p>2) マイクロねじ製品の評価 現行の浸炭焼入れ品との破断トルク試験比較結果 1.0 の超微細粒鋼鋼線で、引張強さ：1000MPa を確保する事により、現行の浸炭焼入れ品と同等の破断トルク試験値を得る事が出来た。 各線径ともに 900~1000MPa を確保する事で、既存のマイクロねじと同等の品質評価を得る事が出来た。 使用用途で評価方法は異なる。例えば携帯電話用マイクロねじは、1m の高さからの落下試験でねじ頭部が破断しないことが条件であるが、当超微細粒鋼製品ねじは現行の浸炭焼入れに比べ靱性が高く問題はない。 その他、家電情報分野では、ねじ頭部を薄くする方策を行っているが、浸炭焼入れの製品には浸炭深さからの安全域を見れば頭部の肉厚さ 0.3mm までが限界である言われている</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>が、超微細粒鋼鋼線のねじ製品に関しては頭部の肉厚形状がでるまでが可能であり、頭部の肉厚 0.10mm 以下ねじ形状も夢ではない。</p> <p>上記の超微細粒鋼鋼線の特性から、より小型化商品（「携帯電話」、「デジタルカメラ」、「パソコン」等）の採用の可能性は高い。</p> |
| | <p>3) ボルト (5.82 : M6 ボルト、 7.05 : M8 ボルト) の製造技術評価</p> <p>スタッドボルト製品。(M6 : 強度区分 8.8T ~ 9.8T 相当、M8 : 強度区分 8.8 T 相当)</p> <ul style="list-style-type: none"> 強度区分 8.8T での超微細粒鋼鋼線のスタッドボルト加工の金型寿命は、現行流動している非調質鋼の強度区分 8.8T と比べ 10% 以上の金型寿命向上が見られた。 強度区分 9.8T では、現行流動しています非調質鋼の強度区分 8.8T と同等の金型寿命である。 ねじ形状に関しては、特に問題なくボルト規格を満足している。 品質的問題点も特に見られない。 <p>ウェルドボルト製品。(M6 : 強度区分 8.8T ~ 9.8T 相当、M8 : 強度区分 8.8 T 相当)</p> <ul style="list-style-type: none"> 強度区分 8.8T での超微細粒鋼鋼線のウェルドボルト加工の金型寿命は、現行流動している SWCH25K の強度区分 6.8T (硬引き材) と同等の金型寿命である。 強度区分 9.8T では、現行流動している材料の中で比較する材質はないが、しいて比較対照とするとすれば、試作的に行った非調質鋼の強度区分 8.8T 材でウェルドボルトの加工を行ったデータから金型寿命は同程度であった。 ねじ形状に関しては、特に問題なくボルト規格を満足している。 品質的問題点も特に見られない。 <p>強度区分 10.9 までは、加工性、生産性を考え、使用材料の炭素量は 0.25% 以下を使用することが望ましい。</p> <p>なお、ボルト加工性は更に量を増やし数十トン単位での確認を繰返し行いデータ解析と課題点の改善を行う必要がある。</p> <p>4) ボルト製品の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> スタッドボルト製品は現行の非調質鋼製品、SCM435 焼入焼戻し製品との機械的特性が同一の強度 (強度区分 8.9T) では、超微細粒鋼鋼線からの冷間加工でのボルトは降伏点強度、伸びが数値的に上回っている。また、ウェルドボルト製品の強度区分 6.8T までは現行流動している SWCH 25K (硬引き材) に比べ降伏点強度、伸びは大幅に高いレベルを示し、9.8T までは、現行流動している非調質鋼、炭素量 0.25% ボロン鋼の焼入焼戻し製品に比べ加工性 (金型寿命) 生産性、品質に問題は見られず、超微細粒鋼鋼線からの冷間加工でのボルトの商品化の可能性は高いと判断する。 但し、自動車部品の評価はボルト特性だけでの評価で採用 (商品化) に至ることはほとんどなく、今後もボルト使用部分での特性試験評価が必要である。 その他コンロットボルト、長尺ボルト、ボールスタッドボルト、スプリングワッシャー等に関しては、ユーザーと相談しながら進めて行く。 超微細粒鋼鋼線のボルト製品での機械的性質の中で、従来の焼入れ焼戻し処理を行った 10.9T ボルトにない特性としては、降伏点荷重と最大荷重がほぼ同等の値を示し、また伸びは現行の焼入・焼戻しのボルト製品に比べ約 20% 向上を示しており、この特性を活かし新規販路拡大 (新製品の商品化) に結び付けて行きたい。 表面疵に関しては、きず深さ 0.05mm 以下であれば、ボルト特性上問題ないレベルであるが、この点は使用するメーカーとの事前調整 (仕様書作成の時点) が必要である。 その他、ボルト製品においては、自動車分野、機械工作、建機分野、建築分野等、ユーザーでの試験方法による特性試験があり、超微細粒鋼で説明が必要な内容を商品化体制に入る前に行う必要がある。(「ユーザー特定の遅れ破壊試験方法」、「ユーザー特定の疲労特性」等) <p>尚、自動車分野での商品化なった場合の量産設備が最も重要な課題の一つであり、商品化前の事前検討が必要である。</p> |

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

| | 企業名 | 所属 | 役職 | 氏名 | TEL | FAX | E-mail |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------|------------------|------------------|--|
| 事業 管理 者 | 大阪精工(株) | 総務部 | 常務 | 光久 富三 | 072- 982-2721 | 072- 987-1094 | t.mitsuhiisa@osaka-seiko.co.jp |
| | | 総務部 | 係長 | 大矢 浩一 | 072- 982-2721 | 072- 987-1094 | h.ooya@osaka-seiko.co.jp |
| | | 製品 開発部 | 取締役 部長 | 森川 勉 | 072- 982-2729 | 072- 982-2706 | t.morikawa@osaka-seiko.co.jp |
| | | 製品 開発部 | | 川崎 美加 | 072- 982-2729 | 072- 982-2706 | m.kawasaki@osaka-seiko.co.jp |
| 再 委 託 先 | (株)降矢技研 | | 常務 取締役 | 三枝 良一 | 055- 240-1100 | 055- 240-1132 | ryoichis@furiya.co.jp |
| | | 製造部 | 製造 部長 | 細野 義実 | 055- 240-1100 | 055- 240-1132 | info@furiya.co.jp |
| | ボルト(株) | 技術部 | 次長 | 木下 昇 | 072 759-8162 | 072- 759-1720 | n.kinoshita@boltz.jp |
| | | 総務部 | 部長 | 羽原 繁 | 072- 759-8121 | 072- 759-1720 | s.haibara@boltz.jp |
| | (株)三和鋳螺 製作所 | 営業部 | 取締役 部長 | 川端 雅夫 | 072- 963-0381 | 072- 964-5502 | kawabata@sanwabyora.co.jp |
| | | 総務部 | | 喜多 浩一 | 072- 963-0381 | 072- 964-5502 | kita@sanwabyora.co.jp |
| | (独)物質・ 材料研究機構 | 連携 推進室 | 室長 | 中野 義知 | 029- 859-2403 | 029- 859-2851 | NAKANO.Yoshitomo@nims.go.jp |
| | | 材料 信頼性 センター | グルー プリー ダー | 鳥塚 史郎 | 029- 859-2111 | 029- 859-2854 | TORIZUKA.Shiro@nims.go.jp |

当該プロジェクトの総括連絡窓口は、大阪精工(株) 大矢 浩一。

第2章 本論 研究開発の内容及び成果等

2-1 データ収集から、商品化に向けての製品化に関する研究

2-1-1 自動車分野 13社からのデータ収集。

1) 2008 年後半からの国内外の自動車販売の低迷、環境問題から、各社「環境に優しく、乗ってみたい車作り」をテーマに、ガソリン車、ディーゼル車の研究開発からハイブリット車、電気自動車の研究開発に力が注がれてきている。超微細粒鋼鋼線の期待は更に高くなっており具体的製品に関しての共同開発の話もあるが、自動車部品としては量的問題及び生産能力の問題もあり、事情を見る必要がある。

2) 具体的部品としては下記製品の使用。

シリンダーヘッドボルト：現在、強度区分 10.9 塑性域で締め付けるため、ボルトが緩む場合がある。強度を上げる要望はあるが、遅れ破壊の問題から踏切れない。超微細粒鋼ボルト特性（強度、靱性）から採用すべき検討の期待は大きい。

溶接ボルト（ウェルドボルト）：現在、強度区分 6.8 を使用。強度をアップして軽量化を図りたいが、炭素量 0.25%以上は溶接時焼入れ組織が発生し、靱性低下を招くことから使用できない。無理やり強度あげる為に焼入焼戻しを行っているが、その為、コストが増大している。この点、超微細粒鋼ボルト特性（炭素量：0.25%以下、強度、靱性）から採用すべき検討の期待は大きい。

スタッドボルト：現在、強度区分 8.8 を使用。強度を上げ、軽量化を図りたいが、遅れ破壊の問題から踏切れない。この点、超微細粒鋼ボルト特性（炭素量：0.25%以下、強度、靱性）から採用すべき検討の期待は大きい。

その他、コンロットボルト、長尺ボルト、ボールスタッドボルト、スプリングワッシャー等の具体的商品化製品のデータ収集を行い、ユーザーからの期待が大きく前向きに進めて行く。

2-1-2 情報家電及び事務機器分野 5社からのデータ収集

1) 超微細粒鋼の試作材が出来れば早急に評価したい。実用化の可能性は非常に高いことを得る。

2) 具体的部品としては下記製品の使用。

携帯電話用マイクロねじ：新製品の携帯電話のマイクロねじに使用。特に「環境に優しいねじ」、「グローバル戦略面」で直ぐにでも製品の商品化を要望される。

ゲーム機用マイクロねじ：現在、ゲーム機の樹脂用結合ねじは浸炭焼入れを行ったマイクロねじを使用。浸炭焼入れなしの高強度「熱処理レス」マイクロねじに非常に興味を示し、すぐにでも製品の商品化を要望される。

その他、デジタルカメラ、パソコン用結合ねじ、複写機・プリンター部品用ねじ、及び小型ロボットの結合ねじ等の具体的商品化製品データ収集を含め、ユーザーからの期待は大きくねじ製品が出来れば早急に評価するとの事である。

2-1-3 工作機械・建設機械その他の産業機械、建物等分野 3社からのデータ収集

1) 建物分野では、建築基準法の改正、着工前の審査が厳しくなったことから、積極的なデータ収集及び具体的な製品商品化の情報は少ない。その中で、高強度長尺ボルト、太陽光発電システム用部材結合ねじは、今後望まれる可能性が高い。

2) 工作機械・建設機械その他産業機械分野の具体的部品としては、高強度長尺ボルト、高強度精密部材結合ねじは、今後望まれる可能性が高い。

2-2 超微細粒鋼鋼線の連続生産技術の研究

炭素量 0.01~0.45%の合金元素を添加していない冷間圧造用の炭素鋼を使用し、温間制御加工を行なうことにより、引張強さ 1000MPa 以上、結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下の特性を持った超微細粒鋼鋼線の連続生産の研究開発を行い、小ねじ、マイクロねじ用である 4.0 と自動車用ねじ、ボルト及び部品用の 12 超微細粒鋼鋼線の商品化に向けての連続生産技術の確立を行なった。

2-2-1 M3 以下の小ねじ、マイクロねじ用超微細粒鋼鋼線の製造技術の確立と製造

1) 小ねじ、マイクロねじ用超微細粒鋼鋼線の連続温間制御圧延製造技術

数スタンドの高圧下形状のロールを使用して、再結晶温度域を利用して、結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下の超微細粒鋼鋼線の連続生産に成功。

また、生産性の向上および表面品質の向上の為に、「圧延温度」、「圧延ロールスタンド数」、「圧延ロール形状」、「各スタンド間の減面率」等の各調整により最終圧延速度 35m/min 以上に成功。

2) 連続温間制御圧延後の超微細粒鋼鋼線の結晶粒度。

温間制御加工後の超微細粒鋼鋼線の結晶粒度は写真 1, 2 に示すが、横断面、縦断面とも等軸の結晶粒度の形状を示し、結晶粒度は $1\mu\text{m}$ 以下と目標である結晶粒度の形状・粒度を達成した。

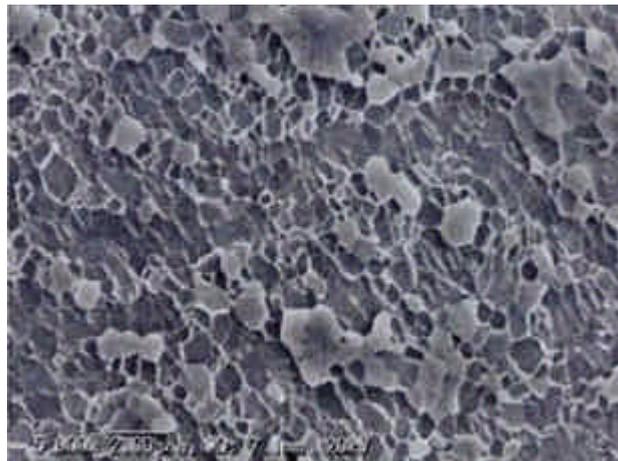


写真 1 横断面結晶粒度

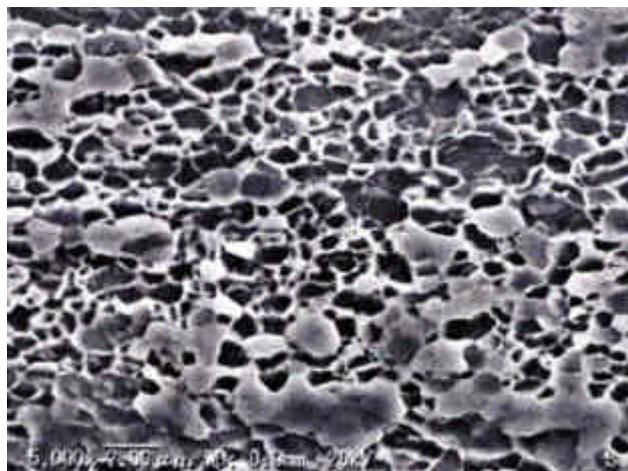


写真 2 縦断面結晶粒度

3) 超微細粒鋼鋼線の機械的特性

使用材料、炭素量 0.02%以下の冷間圧造用炭素線材を使用し超微細粒鋼鋼線製造の代表的寸法サイズでの機械的特性を下記に示す。

素材径 7.5 を使用し温間制御圧延を行い製造した超微細粒鋼鋼線 1.30、 1.15、 0.8 の 3 サイズの応力 ひずみ曲線を図 1、機械的性質を表 1 に示す。

- ・ 1.30 鋼線の特徴は、引張強さ：821MPa、 絞り：85%、 伸び：15.5%
- ・ 1.15 鋼線の特徴は、引張強さ：955MPa、 絞り：81%、 伸び：15.5%
- ・ 0.80 鋼線の特徴は、引張強さ：1225MPa、 絞り：76%、 伸び：11%

を示し目標の引張強さ、絞り特性を得る事が出来た。

その他の特性として、応力 ひずみ曲線に見られるように、最大荷重と降伏点とがほぼ同等の値を示しておりこの点の解析は今後必要である。

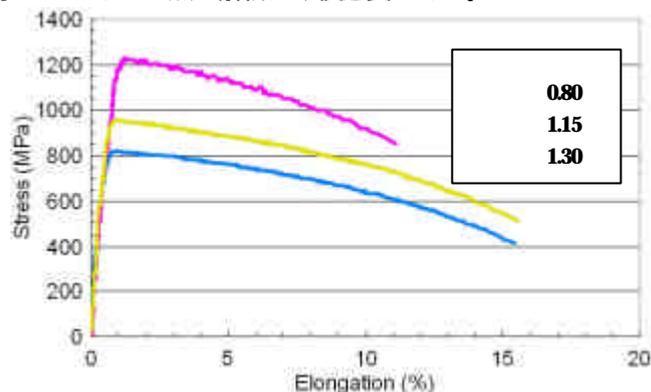


図 1 応力ひずみ曲線

表 1 機械的性質

| | 引張強さ(MPa) | 絞り(%) | 伸び(%) |
|------|-----------|-------|-------|
| 1.30 | 821 | 85 | 15.5 |
| 1.15 | 955 | 81 | 15.5 |
| 0.80 | 1225 | 76 | 11 |

4) 小ねじ、マイクロねじの冷間圧造評価

超微細粒鋼鋼線を用いて、M1.0~M2.0 マイクロねじ製造を実施、現行の SWCH16A 球状化処理材との比較を行う。(下記、写真 3 に M1.6 のマイクロねじ)

- ・ 超微細粒鋼鋼線のねじ加工の金型寿命は、パンチ金型寿命が現行の SWCH16A と比較して 1 割程度の低減、他の金型寿命は現行の金型寿命に比べ大きな差は出ていない。

上記要因は使用材質が炭素量 0.02%以下で変形抵抗が低いことが影響していると推察される。

ただし、金型寿命は量的に量産ベースでの比較が出来ていないことから今後確認していく必要がある。

- ・ その他、形状、表面品質を含め現行の SWCH16A 球状化処理材と比べ差は見られない。

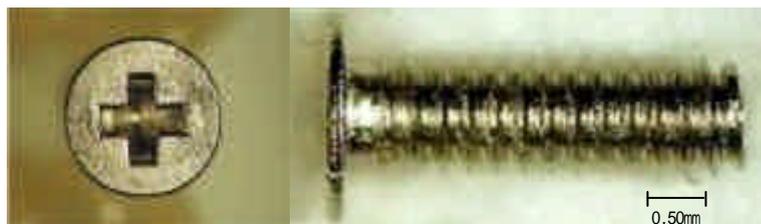


写真 3 マイクロねじ

5) 破断トルク試験評価

代表として現行の浸炭焼入れ処理を行った M1.6 マイクロねじと超微細粒鋼鋼線の M1.6 マイクロねじの破断トルク試験結果を図 2 に示す。

- SWCH16A の浸炭焼入れ処理品と超微細粒鋼鋼線(引張強さ:約 1050MPa)の M1.6 マイクロねじの破断トルク値は、ほぼ同等の値が得られることが明らかとなった。
- 超微細粒鋼鋼線で引張強さ 1000MPa 以上あれば現行の浸炭焼入れ処理のマイクロねじ特性と遜色がないことを確認した。

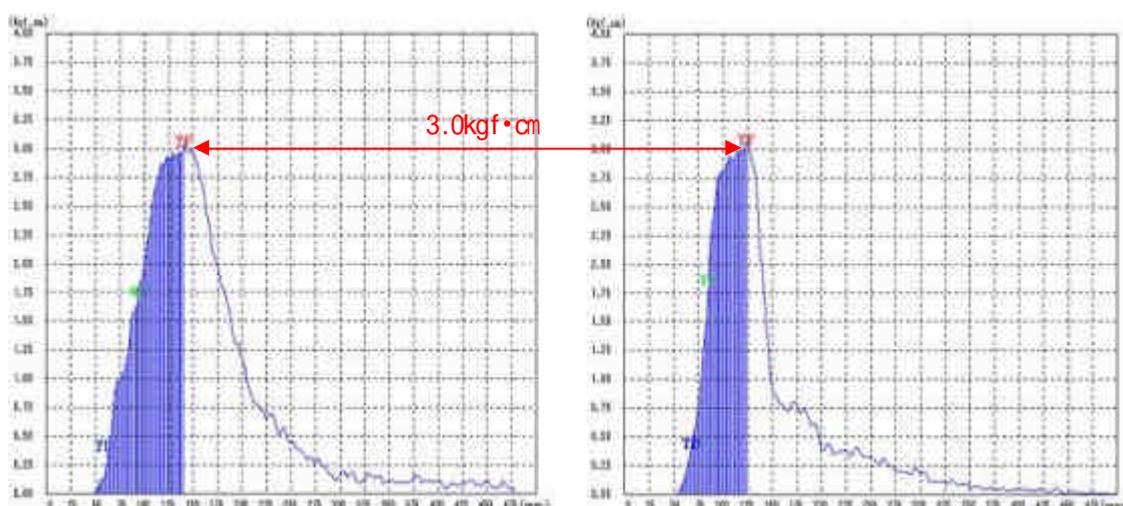


図 2 破断トルク試験結果 通常材(左) 超微細粒鋼鋼線(右)

2-2-2 M4 以上のボルト用超微細粒鋼鋼線の製造技術の確立と製造

1) ボルト用超微細粒鋼鋼線の連続温間制御圧延製造技術

研究開発設備(抵抗加熱装置、ロール圧延設備)にて減面率 75%以上の温間制御工を行うことにより、結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下の超微細粒鋼鋼線の連続生産を確立した。

今後の課題としては、生産性(圧延速度アップ)を考えた量産設備の検討が必要である。

2) 連続温間制御圧延後の超微細粒鋼鋼線の評価

温間制御加工後の超微細粒鋼鋼線は引張強さ 680~700MPa 程度であるが、絞りは 85%以上と高い靱性を確認した。(結晶粒度は $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ と多少のバラツキが見られるが品質上問題はない)

3) 材質別、各サイズの機械的性質

SWCH10A 5.24, SWCH25K 5.82, SWCH45K 7.05 の機械的性質を表 2 に示す。

表 2 機械的性質

| 材質 (JIS 名) | 炭素量 (%) | サイズ (mm) | 減面率 (%) | 機械的性質 | |
|---------------|------------|-------------|------------|-----------|-------|
| | | | | 引張強さ(MPa) | 絞り(%) |
| SWCH10A | 0.10% | 5.24 | 31% | 770MPa | 84% |
| SWCH25K | 0.25% | 5.82 | 15% | 878MPa | 83% |
| SWCH45K | 0.45% | 7.05 | 22% | 1000MPa | 80% |

温間圧延後の冷間加工における減面率。減面率の調整により、引張強さを調整することが可能。

4) ボルト用の冷間圧造評価

下記に代表製品例としてウェルドボルトについて述べる。

ウェルドボルトは、強度の問題のみでなく、頭部形状が複雑（座面に3箇所球形の凸、またはリング状に凸）であり、微細な表面きず及び据え込みの不具合（座屈）によりクラックの発生が見られる。また、頭部高さが薄いため、材質、加工方法によっては最強歪が首下R部に近くなり、頭とびの問題を含んでいる製品を選んだ。

強度面では、主にSMCH25Kの材質を使用し、焼入れ焼戻し処理を行わず、強度区分6.8で使用されている。一部であるが炭素量0.25%のMn、B添加材を使用して焼入れ焼戻し処理を行い、強度区分7T~8T相当で使用されている。

炭素量0.25%MAXで使用される目的は、溶接時での過冷組織（マルテンサイト組織及びベーナイト組織）による靱性低下である。

材質SMCH25Kを用い、引張強さ878MPaの超微細粒鋼鋼線で、現行のウェルドボルトを製造している冷間圧造機にてボルト製造を行なった。

超微細粒鋼鋼線で製造したボルト製品を写真3に示す。形状は現行のウェルドボルト製品と遜色なく、金型寿命に関しては今後量を増やして見る必要があるが、強度区分8.8であれば極端な金型寿命の低下はないものと推察する。



写真4 ウェルドボルト

5) 超微細粒鋼鋼線からのボルト製品の引張試験特性

引張試験を行い、結果を表3に示す。

表3 ウェルドボルト引張試験

| | 引張荷重 (kN) | 引張強さ (MPa) | 破断位置 |
|----|-----------|------------|------|
| 1 | 17.5 | 870 | ねじ部 |
| 2 | 17.9 | 890 | ねじ部 |
| 3 | 18.0 | 895 | ねじ部 |
| 4 | 17.9 | 890 | ねじ部 |
| 5 | 18.1 | 900 | ねじ部 |
| 平均 | 17.9 | 889 | |

鋼種SMCH25K、線径5.82の超微細粒鋼鋼線から製作したM6ウェルドボルトは熱処理を行わずに、強度区分8.8を満足する結果を得る事が出来た。

今後の確認としては、溶接後の特性評価が必要である。

更なる、強度アップ（強度区分10.9）も今後評価していく。

2-2-3 環境負荷の低減

図3に現在の高強度ボルトの製造工程と超微細粒鋼鋼線のボルトの製造工程を示す。超微細粒鋼鋼線を用いて高強度のねじ・ボルトに加工すると、ワイヤーの段階で高強度化を行っている為、焼入・焼戻し処理を行う必要がなく、ベーキング処理も省略することが可能である。線径や工程にもよるが、ワイヤー加工からねじ・ボルト製品が完成するまでの工程で二酸化炭素の排出量を約30~40%削減することが可能。

また、合金元素を添加していない線材を使用するため、リサイクル性も向上した材料である。

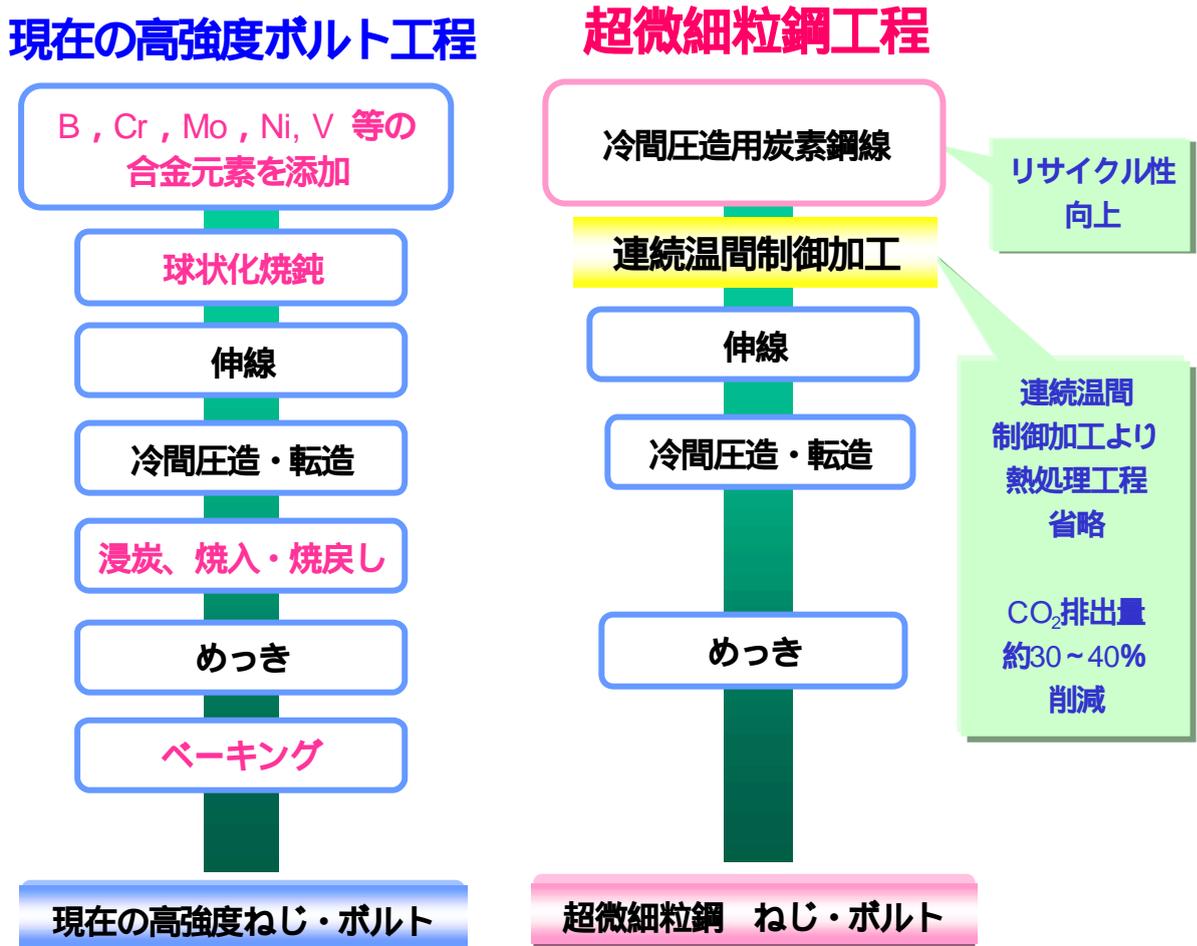


図3 工程比較

最終章 全体総括

3-1 研究開発成果および今後の課題

1) M3 以下の小ねじ、マイクロねじ用超微細粒鋼鋼線の製造技術の確立と製造

M3 以下の小ねじは、炭素量 0.10%以下の低炭素鋼使用による超微細粒鋼鋼線製造が冷間加工性、ねじ特性（強度面を含め）に望ましい。更に M2.0 以下のマイクロねじは、炭素量 0.02%以下の極低炭素鋼使用による超微細粒鋼鋼線製造が、冷間加工時の金型寿命及びねじ特性（強度面を含め）に望ましいことが判明した。

超微細粒鋼鋼線の連続製造に関しても温度管理とロール管理を行えば、目標の結晶粒度 $1\mu\text{m}$ 以下の安定した品質を確保することができる。

ユーザーの要求する強度に関しては使用する材質の変更を行わず、超微細粒鋼鋼線でのサイズを変更する事により要求強度に合せていく。理由は、低炭素鋼および極低炭素鋼使用により冷間加工時の加工硬化を抑え金型寿命を延ばすことが目的である。尚、金型寿命に関しては今後の量産化で見ていく必要がある。

超微細粒鋼鋼線からのねじ製品の品質特性は、現行の浸炭焼入れ製品と遜色ない結果が出ており、使用上に問題点はない。

参考に、引張強さ 1200MPa の超微細粒鋼鋼線からマイクロねじへの製造は形状に問題なく製造できたが、少量のため金型寿命は出ていない。破断トルク試験は現行の浸炭焼入れ処理品に比べ上回る結果を示した。

今後の課題としては、ロール管理及びロール形状の改善による更なる微細きずの低減を図る。また、研究開発設備から量産体制の改造と、市場での超微細粒鋼鋼線のねじ使用量の精確調査を行う必要がある。

2) M4 以上のボルト用超微細粒鋼鋼線の製造技術の確立と製造

M4 以上のボルト使用材質は、ユーザーの要求強度、製品形状、仕様用途により炭素量 0.10%~0.45%の使用で行う事が望ましいが、できるだけ炭素量の低い材質を使用することを推奨する。

超微細粒鋼鋼線の連続製造に関しても温度管理とロール管理を行えば目標の結晶粒度 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ の安定した品質を確保することができる。

超微細粒鋼鋼線からのボルト製品での品質特性は、現行の焼入焼戻し処理を行った強度区分 8.8~10.9 のボルトと遜色ない結果が出ており、使用上特に問題となる点はない。

強度区分 10.9 以上の強度に関しては、ボルト形状では出ていないが、M3 以下の超微細粒鋼鋼線の特性から超微細粒鋼鋼線で引張強さ 1000MPa 及び 1200MPa であれば現行の焼入焼戻し処理を行ったボルトの品質、機械的性質と遜色ない結果が出ると考えられ、今後評価していく必要がある。

今後の最大の課題としては、使用用途によっては、自動車分野向けボルト、部品製品のワイヤーは 100Ton/月の量が見込まれる。現状の M4 以上のボルト用の研究開発設備では量産体制に対応できない事から、市場調査を行い、ユーザー要求量に対応できる設備設置が必要である。

3-2 研究発表・講演・出展状況

講演

- 1) 日本塑性加工学会鍛造分科会 第34回実務講座, 2007年2月8日
“部材結合品における新素材の今後の展開について”
- 2) 戦略的基盤技術高度化支援事業経済産業局採択「新連携/モノ作り中小企業全国フォーラム」, 2007年6月19日
“部材結合用の新素材「超微細粒鋼鋼線」の連続生産に向けての研究開発”
- 3) 大阪鋸螺卸商協同組合東部支部講演会, 2008年8月1日
“超微細粒鋼鋼線を含めたボルト・ねじ用新素材”
- 4) 日本塑性加工学会関西支部第21回技術研修会, 2008年11月14日
“ねじ製品用材料・製造の新技術”
- 5) モノ作り中小企業関西フォーラム, 2009年2月17日
“世界初の「超微細粒鋼鋼線」の連続生産に向けての研究開発”

新聞発表

- 1) “技術革新の潮流 超微細粒鋼製ねじ” 2005年8月4日 日経産業新聞
- 2) “鋼の技 極小ねじにも超鉄鋼” 2006年5月10日 日経産業新聞
- 3) “ねじ製品用材料・製造の新技術” 2009年1月12日 金属産業新聞

出展

- 1) 自動車技術展 人とくるまのテクノロジー展 2007, 2007年5月23~25日
- 2) ダイハツ商談会, 2007年9月6~7日
- 3) 日産自動車「第16回3-3-3技術展示会」, 2008年4月17日
- 4) 難加工技術展 2008, 2008年5月14~17日
- 5) 中小企業総合展 2008, 2008年5月28~30日
- 6) 関西ねじ協同組合賛助会員分科会技術展示会, 2009年3月27日