

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「緩むことのないネジ締結体「L/Rネジ」の塑性加工技術の高度化開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 タマティーエルオー株式会社

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
1-2 研究体制	3
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7

第2章 製造プロセス・製造装置の開発

2-1 はじめに	8
2-2 製造プロセスの開発	9
2-3 製造装置の開発	15
2-4 まとめ	18

第3章 要素技術の開発

3-1 はじめに	19
3-2 ナットフォーミング技術の開発	20
3-3 製品構造の高度化	22
3-4 製品強化構造の開発	26
3-5 緩み防止機構の高度化	28
3-6 まとめ	31

第4章 評価技術の開発

4-1 はじめに	32
4-2 社内規格定義の決定	33
4-3 良品・不良品の線引き基準の確立	34
4-4 高速不良品判別手段の開発	35
4-5 まとめ	37

第5章 全体のまとめ	38
------------	----

第1章 研究開発の概要

L/Rネジは、ユーザーニーズとして川下製造事業者等の緩み止め性能や強度要求を満たし、締結作業が大変困難で信頼性に欠けるとされる従来の緩み止めのためのロックング方法に比べ、ナットに設けたラッチ同士の機械構造的嵌合によって容易にロックング状態を得られるので使い易さでも満足を得ることができている。しかし、供給可能数量が要求数量に全く至っていないことに加え、価格面においては、ユーザーニーズと合致させられない状況にある。

これらの課題を解決するため、専ら螺旋構造を持たないL/Rボルトの生産における著しい低コスト化と高精度でありながら高速生産を可能とすることによる安定供給に資する新たな特殊な転造及びL/Rナットの鍛造等による生産技術を確立することを目指し、【1】製造プロセス・製造装置の開発、【2】要素技術の開発、【3】評価技術の開発を、各研究開発参加者である、株式会社NejiLaw、埼玉精機株式会社、学校法人芝浦工業大学が分担・協力して実施してきた。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

ボルト・ナット等の締結体に対しては、その緩みが原因となる事故が多いため、完全なる緩み止めの性能が求められており、現在、市販の偏心型ダブルナット等の緩み防止効果を有する製品が普及している。しかし、ユーザーは、緩みを完全に防止できるものと期待して既存の緩み防止製品を採用しているが、結果的にはねじの緩みを完全に防止することはできておらず、費用対効果の上でも期待された効果が得られていないケースが非常に多い。

本研究開発の目的は、独自開発の従来同等以上の機械的強度を有する緩むことの無いネジ締結体「L/R ネジ」を量産可能とする技術の開発である。5軸マシニングセンタ加工等の3次元切削技術を用いた L/R ネジは既に開発しているが、今回は極めて低コストで市場投入するための転造及び鍛造プロセスの開発を行う。開発のポイントは、螺旋構造を持たないボルトボディの形成を転造により実現することであり、振動や衝撃、熱サイクル等に係る産業上の効果は大きい。

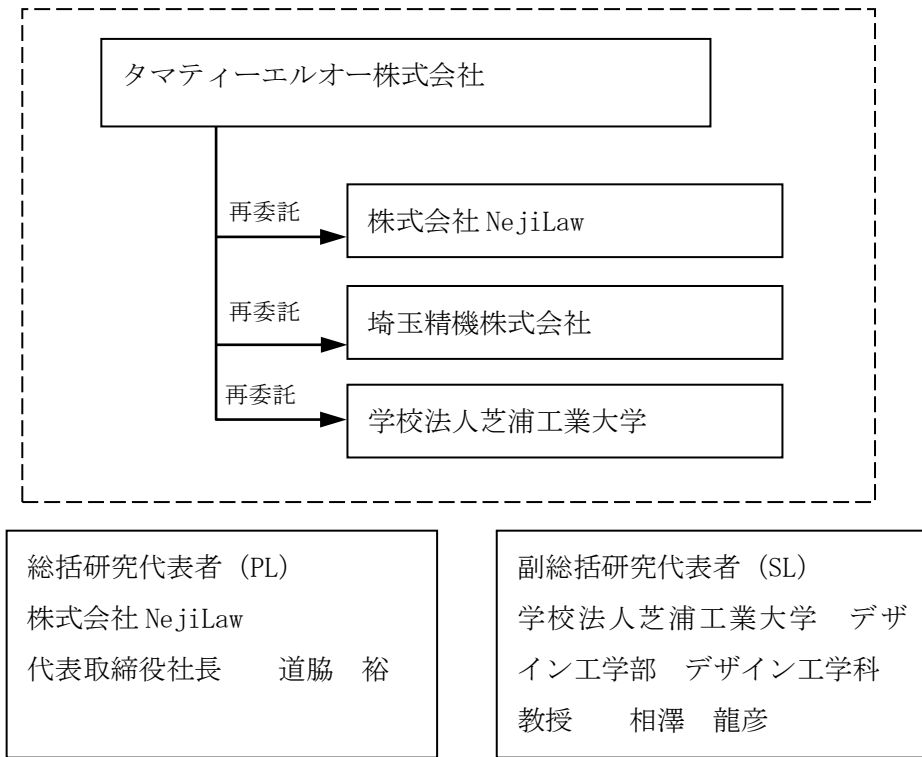
研究の技術的目標は下記の表の通りとした。

表1-1 研究の技術的目標

テーマ	課題	目標
【1】製造プロセス・製造装置の開発	【1-1】製造プロセスの開発	特殊なエラー現象の排除。
	【1-2】製造装置の開発	SUS304、SUS316、チタン、ハイテン等の難加工材を用いた転造。
【2】要素技術の開発	【2-1】ナットフォーミング技術の開発	右ねじナット、左ねじナットを30m/分以上の高速鍛造で製作。
	【2-2】製品構造の高度化	JIS B0251に準拠したねじゲージを通過。
	【2-3】製品強化構造の開発	JIS B1051に規定の機械強度（強度区分8.8同等以上）
	【2-4】緩み防止機構の高度化	衝撃振動試験規格NAS3350/3354、17分間耐久
【3】評価技術の開発	【3-1】社内規格定義の決定	L/RボルトやL/Rナットの交差範囲g6、H6（ISO等級）
	【3-2】良品・不良品の線引き基準の確立	検査装置の分解能・測定精度の0.02±0.01mmレベル
	【3-3】高速不良品判別手段の開発	検査速度は、転造速度30m/分以上。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

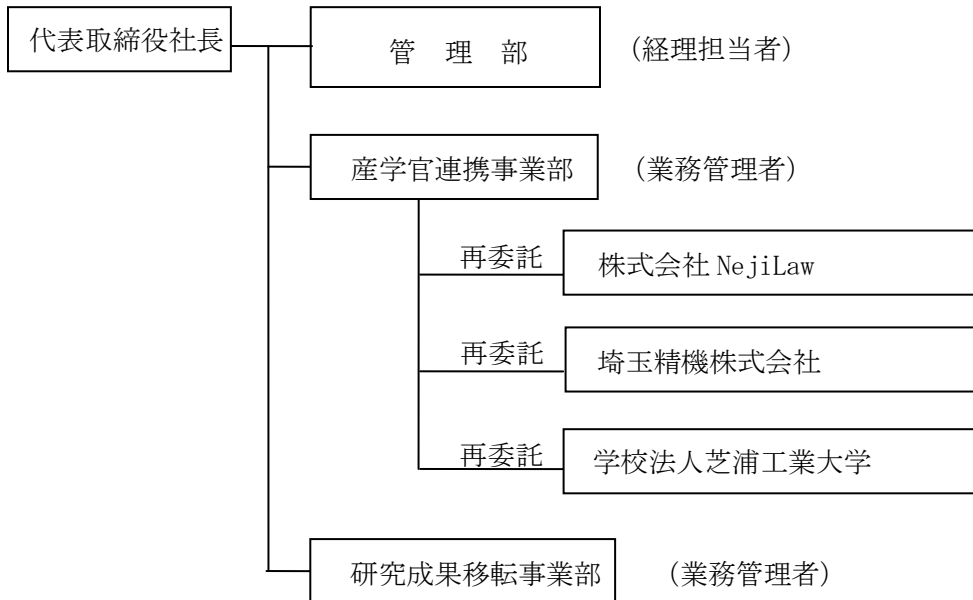
1-2-1 研究組織（全体）



1-2-2 管理体制

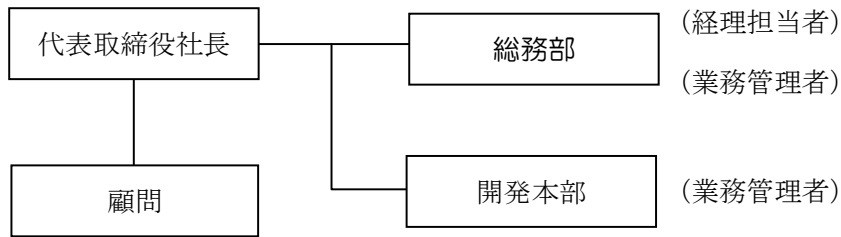
①事業管理機関

[タマティールエルオー株式会社]



② 再委託先

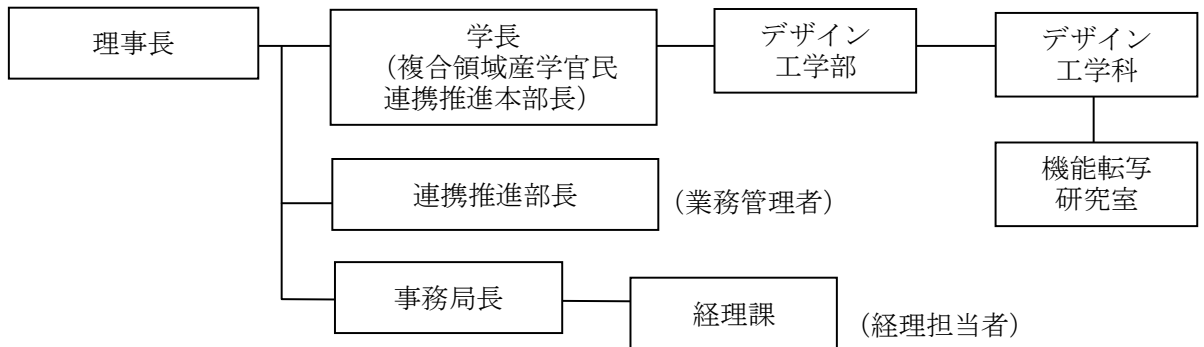
[株式会社 NejiLaw]



[埼玉精機株式会社]



[学校法人芝浦工業大学]



1-2-3 研究者氏名、協力者

(研究者氏名)

株式会社 NejiLaw

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
道脇 裕	代表取締役社長	① ② ③
大村 泰三	開発本部長	① ② ③
須藤 千秋	開発本部 主任研究員	① ② ③
浅子 隆司	開発本部 研究員	① ② ③
道脇 綾子	顧問	① ② ③
新藤 歩	執行役員	① ② ③

埼玉精機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
小島 喜代寿	代表取締役	③
石塚 明善	工場長	③
新井 敏夫	製造部・主任技師	③

学校法人芝浦工業大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
相澤 龍彦	デザイン工学部デザイン工学科教授	① ②

(協力者)

氏名	所属・役職	備考
木作 友亮	株式会社 I H I ・ 構造研究部構造強度グループ	アドバイザー

1-3 成果概要

1-3-1 製造プロセス・製造装置の開発(=2-4 まとめ)

【1-1】製造プロセスの開発

①目標

特殊なエラー現象の排除。

②進捗

初年度にN8サイズにおける、特殊なエラー現象の排除に成功。

2年度目にはN1.4においても排除に成功し、目標を達成した。

【1-2】製造装置の開発

①SUS304、SUS316、チタン、ハイテン等の難加工材を用いた転造。

②進捗

当初、SUS系やチタン系の特殊材による量産品が、高い耐食性や比強度等の観点から川下企業から要望されていたため、最終年度の達成目標として設定していたものの、本開発3年度目の過程において、川下企業から、これらの素材によるねじ締結体が、ねじ締結体の適用対象製品素材との相性が好ましくないとの検証結果が下されたことから、これらの難加工材の川下ニーズが減退したことにより、本開発の対象から外することとした。

1-3-2 要素技術の開発(=3-6 まとめ)

【2-1】ナットフォーミング技術の開発

①目標

右ねじナット、左ねじナットを30m/分以上の高速鍛造で製作。

②進捗

Lナット用金型及びRナット用金型を用いた高速鍛造を計画通り達成した。

昨年度に課題として残されていた、Rナットの意図しない段付きエラー形状を排除するための金型改良を行い、結果として当該エラー形状の排除に成功し、狙い形状を高精度で造形する目標を達成した。

【2-2】製品構造の高度化

①目標

JIS B0251に準拠したねじゲージを通過。

②進捗

N8のねじゲージ通過目標を達成。

N1.4のねじゲージ通過目標を達成。

【2-3】製品強化構造の開発

①目標

JIS B1051に規定の機械強度(強度区分8.8同等以上)

②進捗

N14において、目標強度を上回る強度区分12.9レベルの性能の達成を確認した。

【2-4】緩み防止機構の高度化

①目標

衝撃振動試験規格NAS3350/3354、17分間耐久

②進捗

AS3350/3354に準拠した振動試験機の開発を行い、L/Rネジが目標の17分間耐久を達成、緩まない構造の設計は完成された。

また、更なる高度化により、緩まないが外せる構造の実現も達成された。

1-3-3 評価技術の開発(=4-5 まとめ)

【3-1】社内規格定義の決定

①目標

L/RボルトやL/Rナットのはめあい交差範囲g6、H6(ISO等級)

②進捗

N8の社内規格定義は初年度に達成。

N1.4の社内規格定義も、目標としたはめあい公差範囲において定義決定が達成された。

【3-2】良品・不良品の線引き基準の確立

①目標

検査装置の分解能・測定精度の $0.02 \pm 0.01\text{mm}$ レベル

②進捗

不良品判定用の撮像装置に用いる画像解像度の調整を行い、CCDの最小画素単位において、設定精度を達成した。

【3-3】高速不良品判別手段の開発

①目標

検査速度は、転造速度30m/分以上。

②進捗

撮像画像に発生したハレーション及び意図しない影が発生する問題を解決した。

また、この解決技術の特許出願を行い、通年で3件の特許出願を行った。

最終的に、3年間における開発過程において発生した様々な問題を解決し、ボルトのネジ山部を解析するための、専用の画像解析プログラムを開発、静止画像から山部、谷部を、N8ボルト0.5本/秒で解析が可能となり、計画通り高速不良品判別装置の高速化を達成した。これは、当初目標の「転造速度30m/分以上」を、設定時のN8・L=100で換算すると、0.5本/秒となることから、目標を達成したといえる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口(所属・氏名・電話・FAX・E-mail)

タマティールオー株式会社・山県通昭

・電話:042-631-1325・FAX:042-649-2269・E-mail: yamagata@tama-tlo.com

第2章 製造プロセス・製造装置の開発

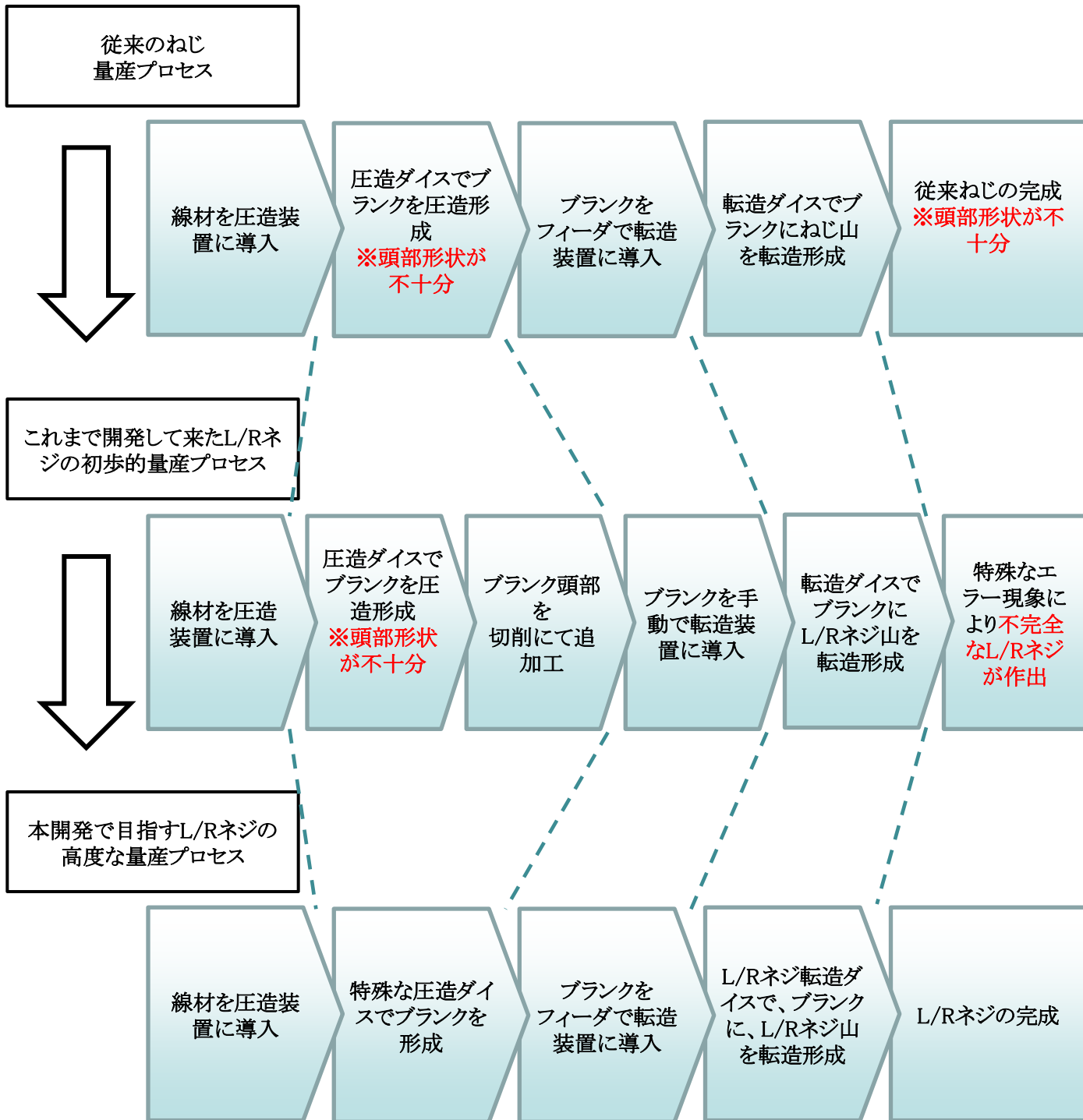
2-1 はじめに

L/Rネジを構成する部材は、螺旋構造を持たないL/Rボルト、並びに、このL/Rボルトに螺合して互いに機械構造的に結合させてロッキングさせる右ネジのナット(Rナット)と左ネジのナット(Lナット)である。これらの部材を精度よく、また高速に製造する技術を確立することが本開発の主題であり、それらの部材の低コストな大量生産を実現するには、L/Rボルトを製造するための特殊な転造を可能とする転造装置の実現が不可欠である。

これまでのL/Rボルト転造の課題は、特殊なエラー現象が生じることであり、本開発ではこれを完全に排することを目標とする。また、非貫通雌ねじの袋構造でありながらラッチ構造有するLナット、及び、貫通雌ねじ構造でありながらラッチ構造を有するRナットを一台の圧造装置により圧造可能としつつも、六角丸形頭部を有し且つ軸径に対する首下長が著しく長いボルトブランクを当該同一の圧造装置により圧造可能とすることを目標とするという極めて挑戦的な課題を設定している。

また、効果的且つ効率的に、L/Rボルト転造を実現するために、実際の装置等を用いた開発や特殊金型の開発に加え、CAEによるFEMを用いてそれらの結果を整合させながら開発を進めることとした。

2-2 製造プロセスの開発①



2-2 製造プロセスの開発②

1-1目標

緩まないねじ締結体「L/Rネジ」を生産するためには、特殊な転造加工法を考案し、転造したL/Rネジの有効性を実証する必要がある。FEM解析によりL/Rボルト転造プロセスの検討を行い、問題点や転造加工の可能性を抽出して、特殊な転造金型を設計するとともに、製造したL/Rネジの力学的特性を明確化することを目標とする。

1-2本年度の目的と成果

NejiLaw社が作製した形状データを、STEPデータとして入力することから、3次元有限要素モデルの自動作成技術を進め、3次元弾性解析・3次元弾塑性解析により、L/Rネジの締め合いにおける応力基準（破壊の起点になる最大応力；締め合い状態における軸力推定など）を求めることを、本年度の目的とした。

その結果、L/Rネジの特徴は、緩まないために、一定の軸力が結合部材に負荷されている点であり、ナット・ボルトの締め合いに伴う応力基準を有限要素解析で評価できることを示した。

1-3内容

図1-1に示す入力から解析までの一貫システムを構築した。

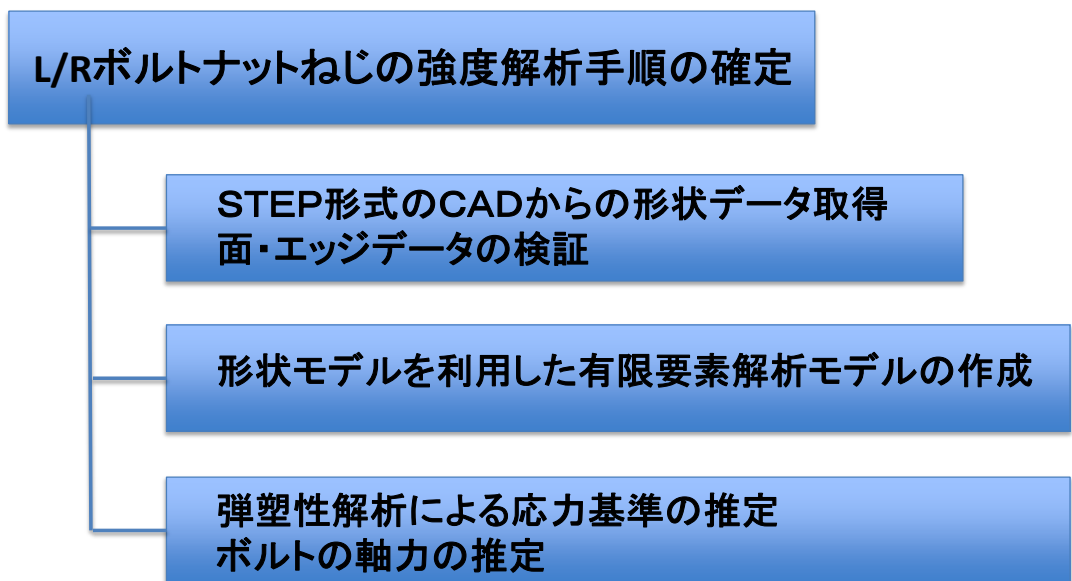


図1-1：形状データ入力から、L/Rネジの解析評価までの一貫プロセスの構築

2-2 製造プロセスの開発③

ネジの締め合いにおける弾性応答、弾塑性応答に関しては、このプロセスによって、L/Rネジの力学的な特徴を求めることができる。ただし、ボルトナットの接触状態に関しては、CAD形状データの整合性の問題がなお残っており、検討すべき項目とした。

以下に本プロセスの流れを、順を追ってします。
CAD形状データは、図1-2のようにSTEPデータとして取り込んだ。

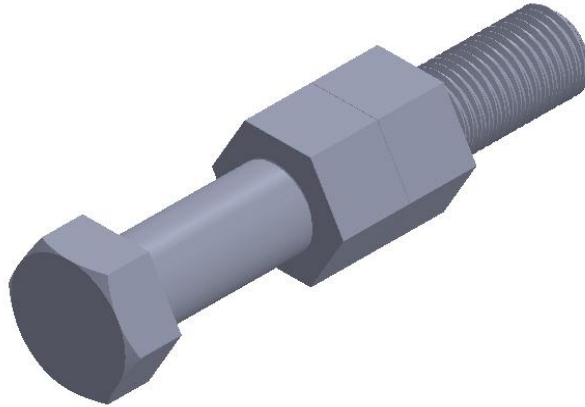


図1-2 STEPデータ入力後、面データ・エッジデータ調整後の整合データ表示。

解析メッシュモデルを作成するために、形状データの整合性をチェックする必要があり、これは手作業による整合チェック・修正作業が必要となる。このデータから自動的に作製した3次元有限要素モデルを図1-3に示す。

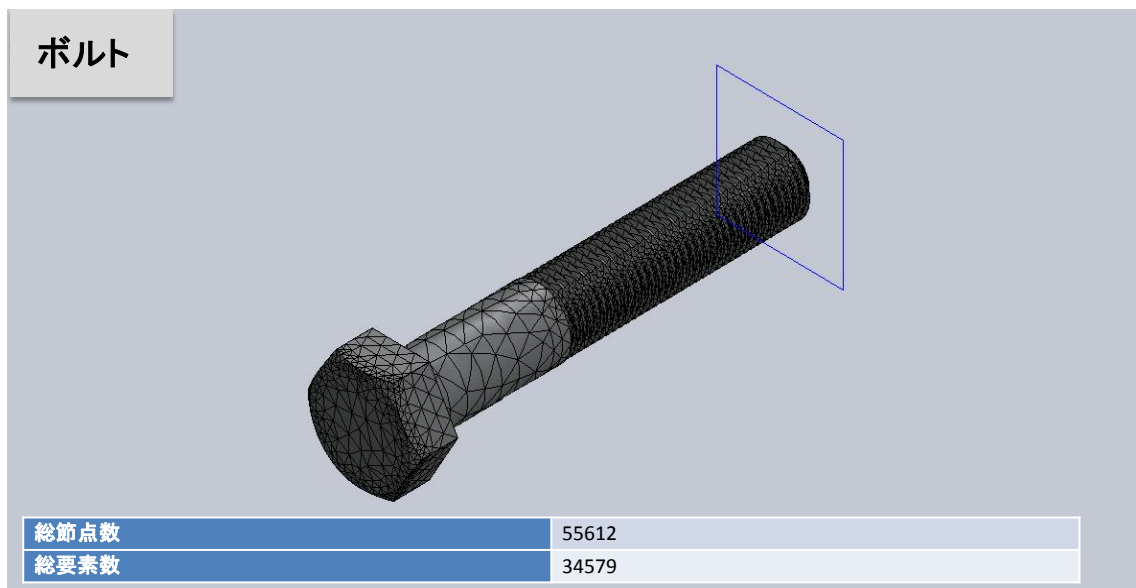


図1-3 戦略的なパラメータ選択による自動要素分割した3次元有限要素解析モデル。

2-2 製造プロセスの開発④

ここでは、自動分割操作のための戦略的パラメータ設定を手作業で行う必要があり、ボルト締め合い部の形状への配慮が必要である。

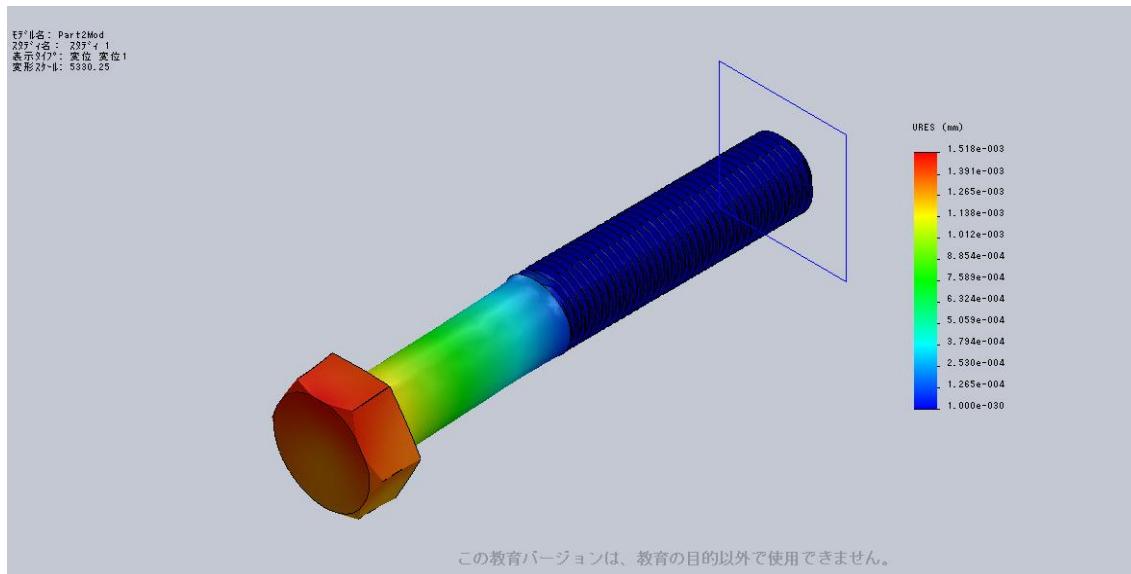


図1-4 L/Rねじの3次元変形状態分布。

解析結果の一例として、その変形状態を図1-4に示す。断面状態における変形・ひずみ・応力状態も示すことも可能である。

2-2 製造プロセスの開発⑤

「ブランク圧造プロセス」の概要

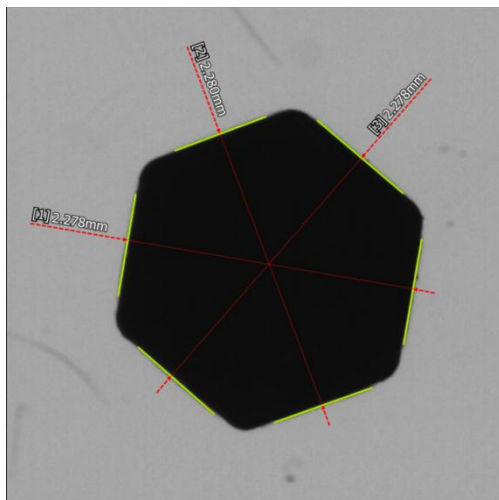


完成したN1.4ボルトブランク圧造用金型

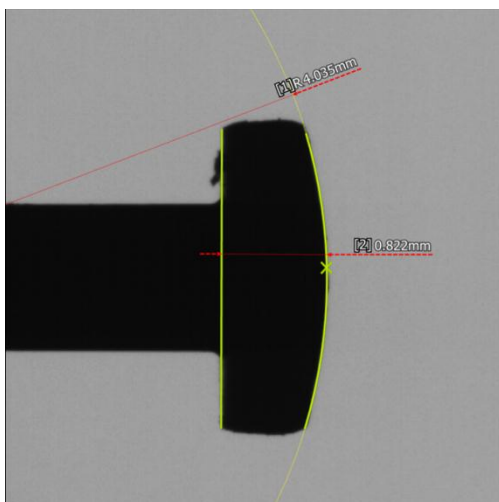


N1.4ボルトブランク

N1.4ボルトブランク用金型の改修を重ね、一度の圧造工程で目的形状を成形できるようになり、目標を達成した。



頭部平面視



頭部側面視

N1.4ボルトブランク二面幅計測結果

目標値	2.25 (+0.1, -0.0)		
	A	B	C
1	2.28	2.28	2.29
2	2.28	2.28	2.30
3	2.28	2.28	2.29
4	2.30	2.30	2.31
5	2.29	2.29	2.31
6	2.31	2.31	2.32
7	2.29	2.29	2.29
8	2.30	2.30	2.30
9	2.29	2.29	2.30
10	2.28	2.29	2.30
11	2.28	2.30	2.31
12	2.29	2.30	2.31
13	2.28	2.30	2.32
14	2.28	2.28	2.30
15	2.29	2.32	2.34
16	2.32	2.33	2.34
17	2.31	2.31	2.31
18	2.28	2.28	2.29
19	2.27	2.28	2.29
20	2.30	2.30	2.33
21	2.28	2.29	2.30
22	2.28	2.29	2.31
23	2.29	2.30	2.31
24	2.28	2.29	2.31
25	2.27	2.28	2.29
平均値	2.288	2.2944	2.3068
最小値	2.27	2.28	2.29
最大値	2.32	2.33	2.34

ボルトブランク圧造の数値目標達成

2-2 製造プロセスの開発⑥

「L/Rボルト転造プロセス」の概要①

従来の転造ねじの量産手法

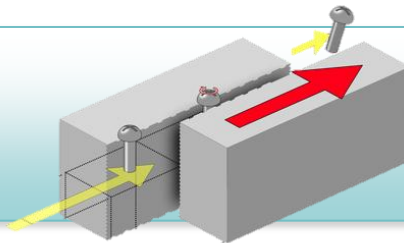
連続的に繋がったリード条を形成した2つの転造ダイス間でブランクを転動させながら圧造する。リード条によって溝付けと山形成を同時に行う。

その結果、肉移動が容易で、連続した螺旋状のねじ山を雄ねじ外周に形成することができる。

本案のL/Rネジの転造の課題

これまでの研究により、L/Rネジ山の主たる部分の形成は確認出来ている。しかし、金型が特殊形状であるため、細部において特殊なエラー現象が生じ、目的形状が得られないという課題があった。

① 製造プロセス・ 製造装置の開発



▶ 製造プロセスの開発

FEM解析を用いた検討 etc.

▶ 製造装置の開発

特殊金型の制御 etc.

本開発においては、三次元転造プロセスにおいて、L/Rネジ転造を実現するため、三次元の特殊転造金型に更なる工夫を施すことに加え、転造装置に金型を制御する機構を導入することを計画している。

2-3 製造装置の開発(三次元転造装置)

(1)長軸安定摺動転造

①目的

L/Rボルトは、螺旋構造が無く、特殊な形状の山々が構成されるため、従来の螺旋構造のねじの転造では容易であった加工が不能となり、加工手段が極めて限定される。これに伴って、転造装置に対しては、より高精度な摺動の安定化が求められることになり、同クラスの転造装置に比して、長軸に亘り安定した摺動性を示す転造を可能とする転造装置を開発する。

②結果と目標

長軸安定摺動転造を可能とする三次元転造装置の開発に関しては、微小ネジ用転造装置メーカーの協力を得て、クラス最高峰の高摺動の転造を実現した。一般的には、長軸化する程、ダイスの安定性が失われ、製品精度が低下する。しかし、安定駆動加工等を施すなどして極めて安定したダイス摺動を実現することで超高精度な転造を可能とする転造装置を開発した。

(2)転造状況検出

①目的

連続しない特殊な山形状のために転造中も変化し続ける転造状況のモニタリングと、ワークの仕上がり状況の関係を、転造時に確認することが出来るように装置を構成するとともに、将来的に、より高度化される金型を用いた転造装置の運転状況を反映させて、ワーク形成をダイナミックに行い得るように改造可能とする特殊仕様とする。

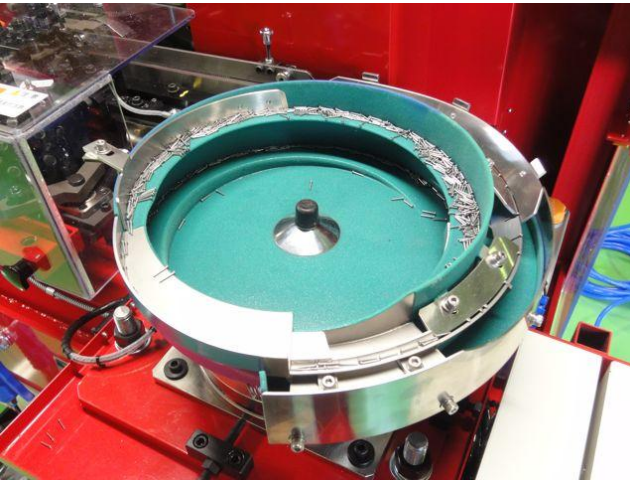
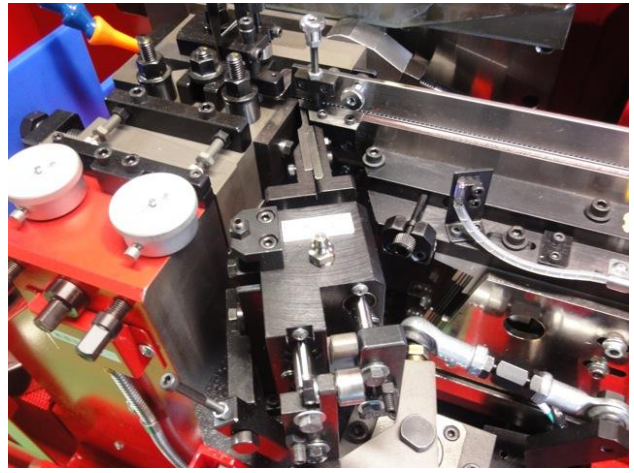
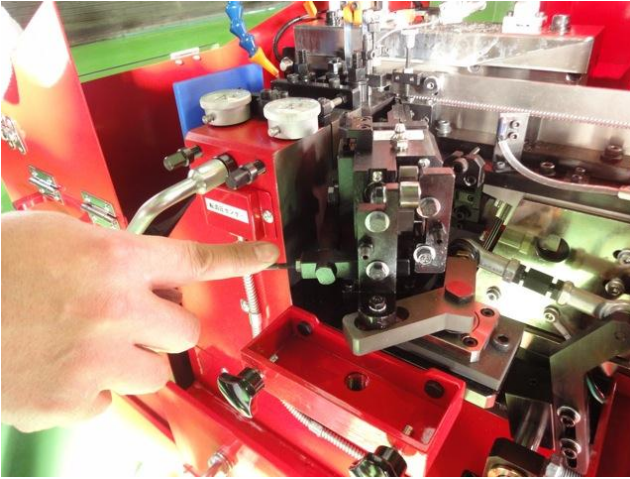
②結果と目標

転造状況検出に関しては、一方が固定、他方が可動として互いに向き合って配設される転造金型間に検出装置を配置して逐次情報出力することが出来るように構成することが出来た。特に、異常数値を検出した場合には、自動停止するように構成した。

(3) 三次元転造装置の設置・運転状況①



(3) 三次元転造装置の設置・運転状況②



2-4 まとめ

製造プロセスの開発においては、L/Rボルト用金型に発生する特殊なエラー現象の排除が目標であり、初年度はN8サイズにおいて排除することに成功した。

また次年度目には、N1.4においても特殊なエラー現象の排除にも成功し、目標を達成した。

第3章 要素技術の開発

3-1 はじめに

② 要素技術の開発

- ▶ 【2-1】 ナットフォーミング技術の開発
- ▶ 【2-2】 製品構造の高度化
- ▶ 【2-3】 製品強化構造の開発
- ▶ 【2-4】 緩み防止機構の高度化

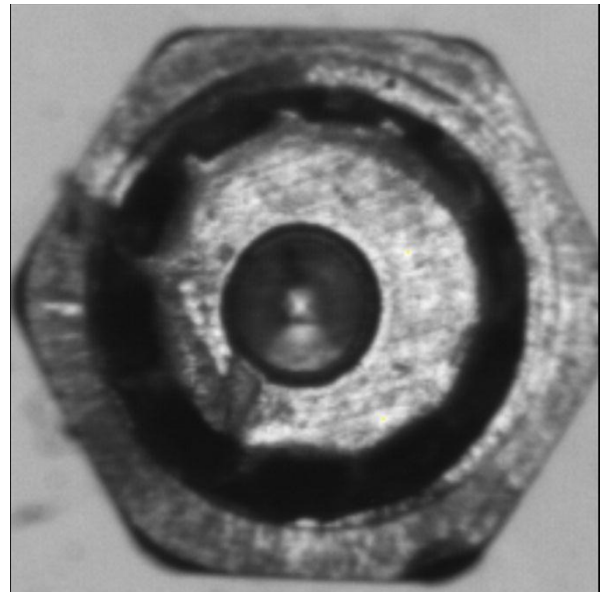
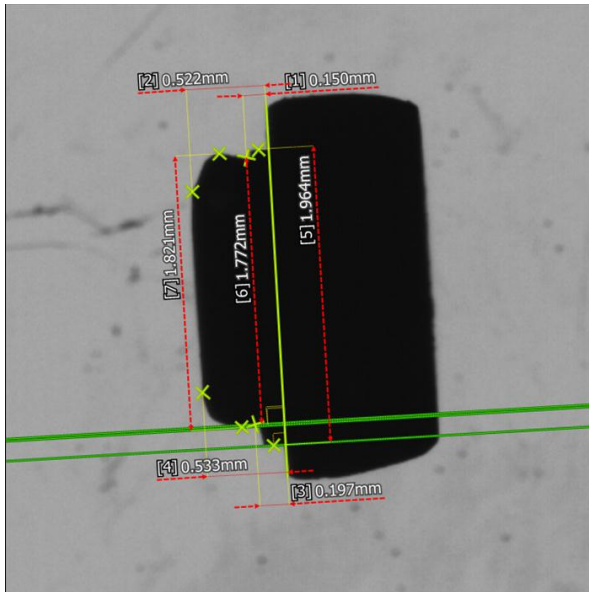


ナット先端部の鋸歯状凸型部

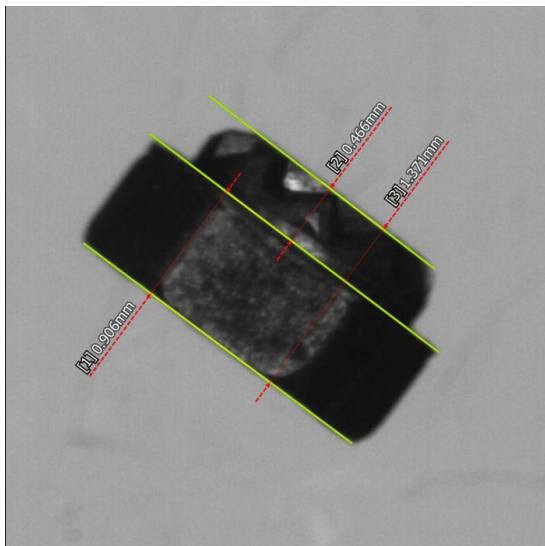
L/Rネジの構成は、基本的にはL/RボルトとLナット、Rナットの三要素から成る。これら三要素の技術開発の推進は、L/Rネジを実用化する上で、或いはより信頼性と利便性を高める上で非常に重要であり、また不可欠である。そこで、本要素技術の開発においては、L/Rナットを量産するためのナットフォーミング技術の確立を目指す。また、同時に、より高度な実用性を兼ね備えたナット構造やボルト構造の導出や確立のためにCAEを用いたFEM解析や3Dモデリング等を進め、最適形状を効率的に導出することを目指す。また、L/Rネジ、特にL/Rボルトの高強度化を目指し、FEM解析や実物実験の相関性を取りながら製品強化構造の導出を進める。更に、強化構造を持ったL/Rボルトと量産可能であり且つ信頼性、利便性、実用性等の向上を図ったL/Rナットとを結合させ、これまで同等以上に高い質で緩み防止を達成することを目指す。

3-2 ナットフォーミング技術の開発①

【Rナットの圧造】



- 導入した圧造機を用いて、開発した N1.4 Rナット用ダイスによる圧造を行い、最も困難と想定していたラッチ部分の形成に成功した。
- 昨年度発生した、ナット基部の意図しない段差については、ダイス改良によって解決を見た。

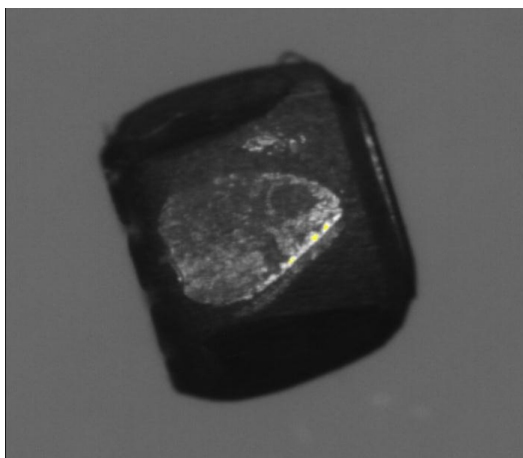
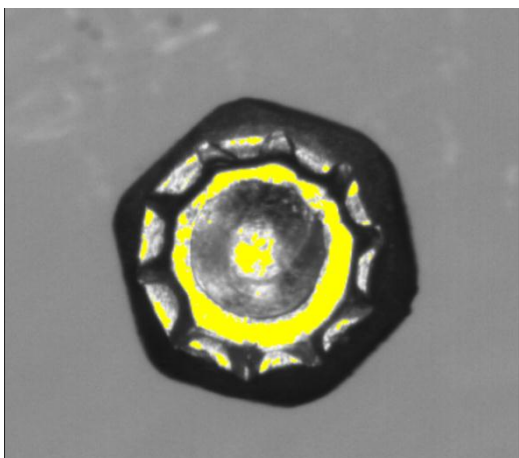
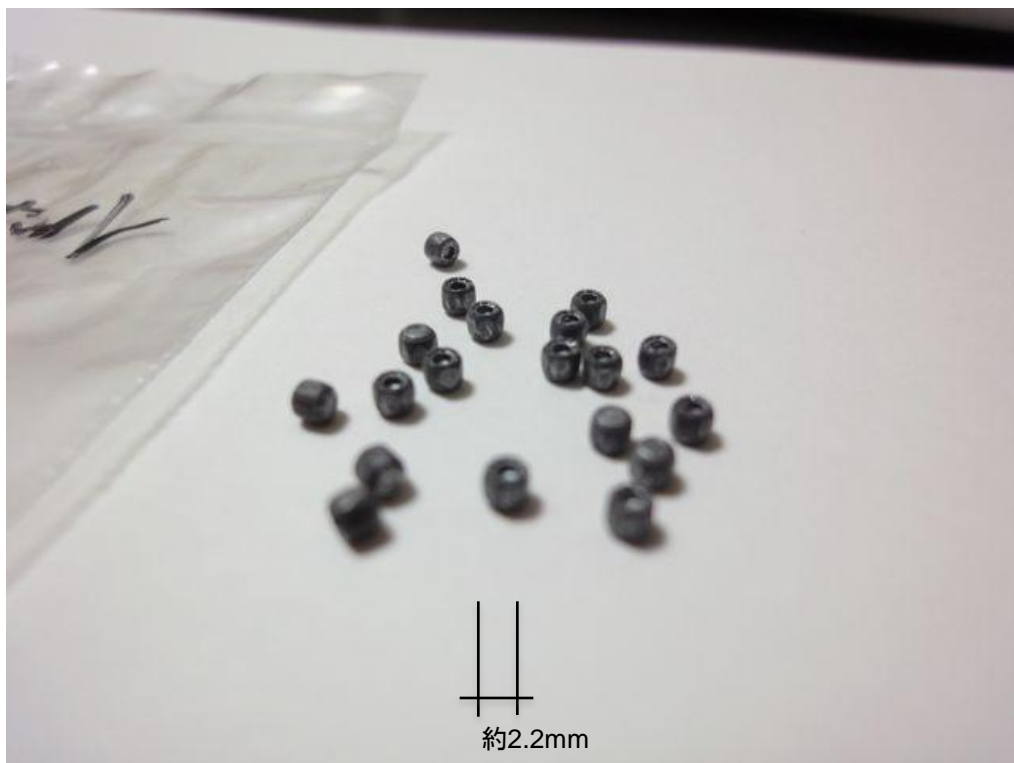


	二面幅			厚さ
	A	B	C	六角部
No.1	2.282	2.281	2.282	1.015
No.2	2.285	2.282	2.277	0.986
No.3	2.273	2.277	2.277	1.017
No.4	2.281	2.287	2.286	1.001
No.5	2.284	2.283	2.280	0.995
平均値	2.281	2.282	2.2804	1.0028
最小値	2.273	2.277	2.277	0.986
最大値	2.285	2.287	2.286	1.017
目標値	2.25	(+0.1, -0.0)		1.16

3-2 ナットフォーミング技術の開発②

【Lナットの圧造】

導入した圧造機を用いて、開発した N1.4 Lナット(袋ナット)用ダイスによる圧造を行った。ダイス改良を重ねることで、目標形状を高速圧造できる目標を達成することができた。



3-3 製品構造の高度化①

1 目標

L/Rネジが製造できる高強度線材ならびに製造したL/Rネジが十分な強度をもつように、新しいプラズマ表面処理を開発し、ナットフォーミング技術の高度化をはかる。特に、チタン材およびSUS材のように、耐候性・耐腐食性・表面特性を保持しつつ、強度を向上させる製品展開を図るために、低温プラズマ表面処理の有用性を実証することを目標とする。

2 本年度目的と成果

L/Rネジの締め合いに耐久強度向上を図るための表面処理として、高密度プラズマ窒化法を試みた。特に、SUS線材への適用を進め、製造時の有用性ならびにL/Rネジの耐久性向上を目指す。

本年度の成果として、L/Rネジの製造では、線材表面の変形・ひずみが大きいいため、線材としての強度も、製造したL/Rねじの高強度化も不可欠であり、その表面処理として高密度プラズマ窒化法を提案した。特にSUS線材を1つの標準素材として、その高強度化の可能性を実証した。

3 内容

高密度プラズマ窒化法の開発には、芝浦工業大学に既設のRF/DCプラズマ窒化装置を用いた。図2-1にその外観を示す。

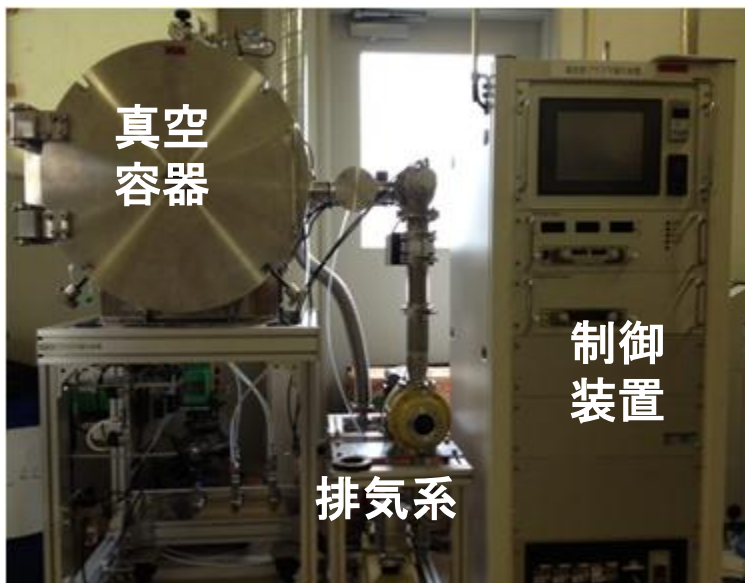


図2-1 高密度プラズマ窒化法の開発のために使用した装置。

3-3 製品構造の高度化②

RFとDCとを独立に起動、制御できるため、多様なプラズマ反応環境を実現でき、開発では、RF電圧、DC電圧、ガス圧、保持温度、ガス流量比などをパラメータにして、体系的な実験を行った。プラズマ最適化の研究成果の一例として、プラズマ内での生成核種についてのスペクトルについて示す。

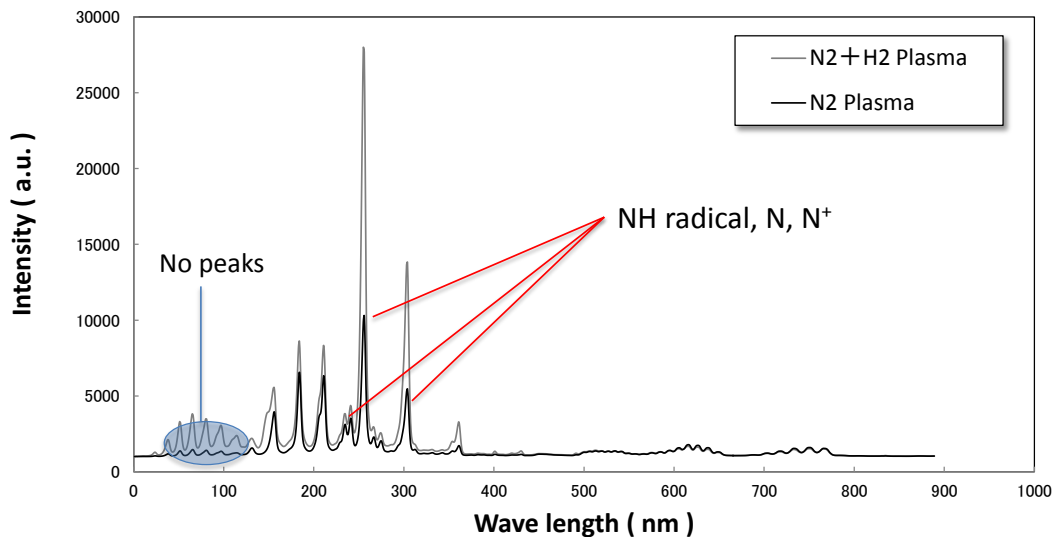


図2-2 窒素のみ、窒素・水素混合ガスによる生成核種の相違。

高密度プラズマ窒化の性能を決定する核種に、NHラジカル、活性化窒素原子(N)と窒素イオン(N⁺)があり、これらが水素との混合条件下において大量に生成することがわかる。

次にL/Rネジ成形用にSUS316線材の作製を試みた。ロール成形による目標の1.4ΦのSUS316線材の作製を行い、成形後に、プラズマ窒化実験用に切断した試験片を図2-3に示す。

高密度プラズマ実験では、この線材を用いて窒化実験を行った。実験条件は、480℃一定、1時間保持、圧力75Pa、窒素-水素混合ガス使用である。なお、RF電圧は230V、DCバイアス-300一定とした。実験結果を図2-4に示す。線材表面は一様に窒化され、比較的短時間でも窒化されることがわかった。

次に、線材作製に用いたSUS316素材から、直径25Φ、厚み5mmの平板試験片を作製し、片面を鏡面研磨し、長時間実験後の硬度測定に用いた。なお、片面表面研磨は、表面硬さ試験において、表面粗さが与える影響を回避するためである。硬さ試験には、芝浦工業大学に既設のマイクロビッガース試験装置を用いた。深さ方向の硬さ測定には、平板試験片をせん断し、その表面を事後研磨を行い、その断面上において表面から順次、硬さを測定し、分布を得た。

3-3 製品構造の高度化③



図2-3 ロール成形法で作製したSUS316線材。



図2-4 高密度プラズマ窒化したSUS316線材。

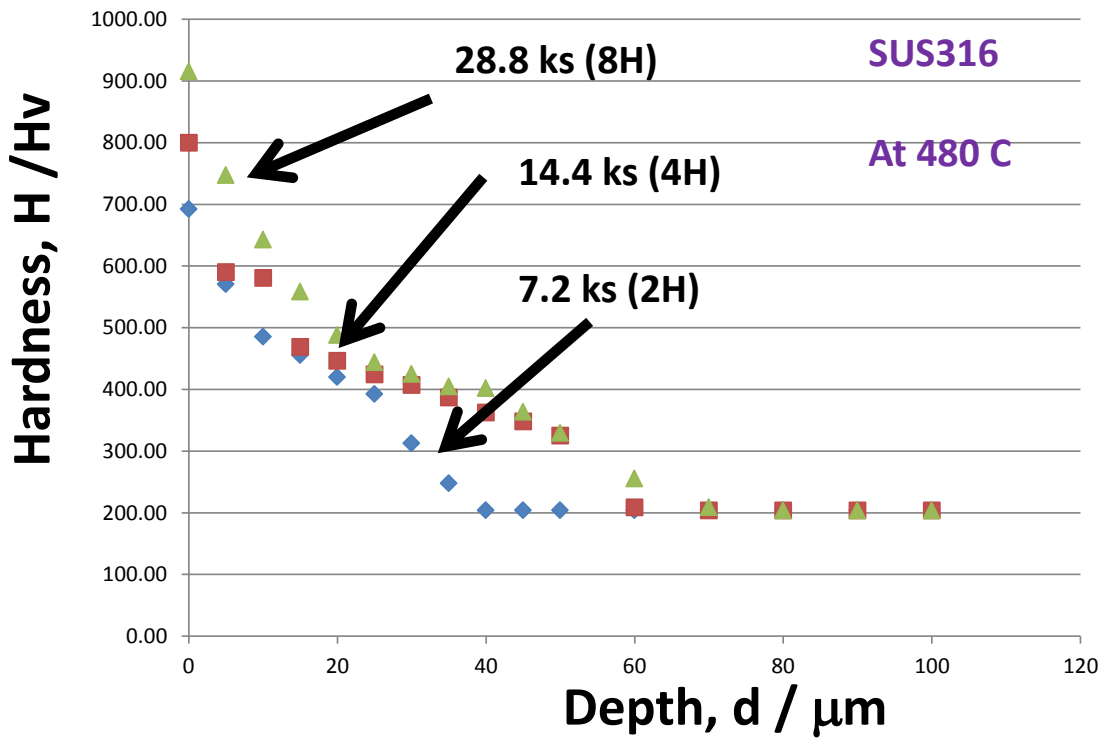


図2-5 480°C一定で高密度プラズマ窒化したSUS316平板試験片断面の硬さ深さ分布の窒化時間依存性

3-3 製品構造の高度化④

2時間後の表面硬度は700Hvにまで増加し、その後4時間、8時間とともに、表面硬度はゆっくり増加する。これは、窒化時間を増加させたことにより、ナノオーダーで析出したCrNの体積率が増加することで、表面析出効果が作用したものである。すなわち、480°C一定の高密度プラズマ窒化の高硬度化は、SUS316材中の構成元素であるCrと拡散してきた窒素原子との反応により、微細析出したCrNによる析出硬化機構によると考えてよい。この推察を実証するために、図2-5より生成した窒化厚さを求め、その窒化時間依存性を調査した。

プラズマ窒化による高硬度化が、先に述べたように、析出硬化機構により支配されていれば、内部窒化プロセスは、SUS316材中の窒素原子拡散によって支配される。今、上記のCrNへの析出反応が窒化先端のみで生じ、窒化層中を一定の拡散速度で、窒素が拡散していると仮定すると、窒化層厚さと窒化時間との間には、理論的には、以下の式が成立する:

$$E^2 = K_p \times t \quad (1)$$

ここに、Eは等価窒化層厚さ、 K_p は比例係数(窒化係数)、tは窒化時間である。

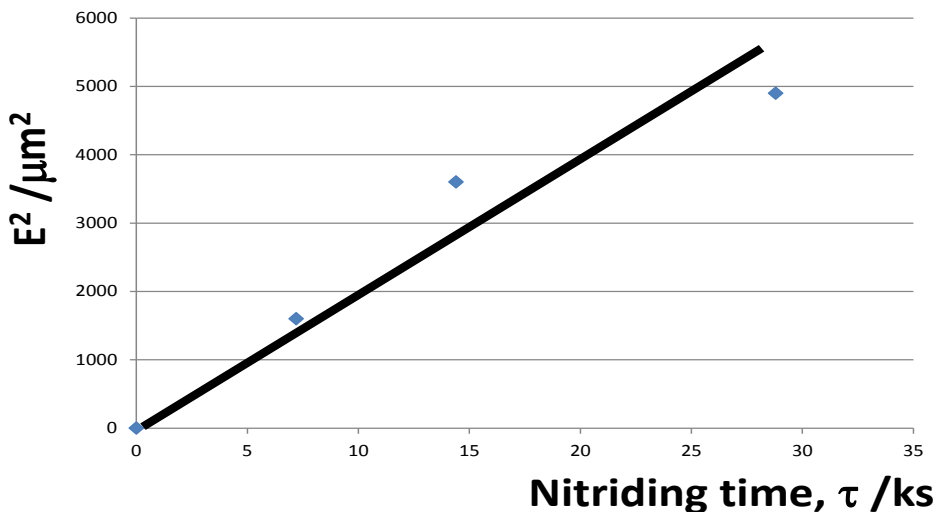


図2-6 等価窒化層厚さの2乗と窒化時間との関係。

実験では、等価窒化層厚さは、図2.5において、測定した硬度深さ分布が母材の硬度に一致した深さとした。図2.6に掲げるように、 E^2 とtとの間には、直線関係が成立することがわかる。これより、上述の理論の前提となる微細CrNの析出反応による硬度化機構が、480°CでのSUS316材の高硬度化を律していることが証明された。

実用的には、用途に応じて、求める表面硬度分布も表面状態も異なる。いま、 $\Phi 1.4$ のL/RねじをSUS316材で作製する場合をシミュレーションすると、図2.5に示すように、8時間の窒化では、等価窒化深さとして、80 μm までの窒化層が形成される。ねじ加工部を200 μm と仮定すると、中心部位(厚さ:1mm)中の外周80 μm が高硬度化領域となる。断面積率として、約30%が高度化領域となることが予想され、プラズマ窒化有用性が推定できた。

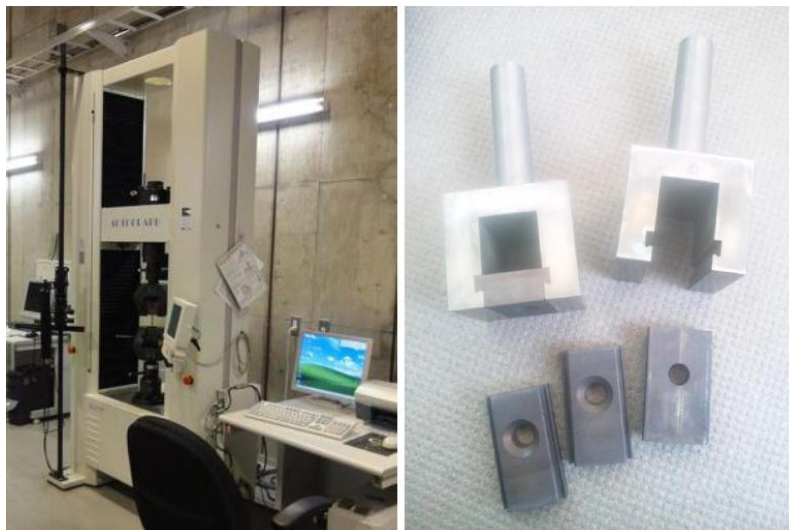
3-4 製品強化構造の開発①

- ・引張強度課題、疲労強度課題、ねじ締め付け強度課題への対応

L/Rネジの三次元モデリングデータを制作し、それらに対してFEM解析による引張強度解析、疲労強度解析、ねじ締め付け強度解析を行う。

他方、実際に三次元転造により転造加工で製作したL/Rボルトとナットフォーミング技術によって製造したL/Rナットとを組み合わせる引張強度試験、疲労強度試験、ねじ締め付け強度試験を実施する。

これらFEM解析の結果と試験の結果を、三次元の特殊形状金型の最適構造と対応するナットフォーミング技術に反映する。



引張試験機と引張強度試験用治具



締付試験機

3-4 製品強化構造の開発②



疲労試験機と疲労試験用冶具



テストピースの破断状況

3-5 緩み防止機構の高度化①

・緩みのメカニズム研究課題への対応

緩みについての定義は必ずしも明確ではなく、自動車や船舶など実際の緩み現場によって、緩みの原因やメカニズムが異なると考えられる。川下企業のニーズや用途に適合した条件の緩みのメカニズムの研究を行い、川下産業や川下企業の信頼性の向上に寄与する。またパーマネントロックタイプの構造においても、所定値以上の外シトルクをかけることで容易に取り外すことができる機構を検討する。

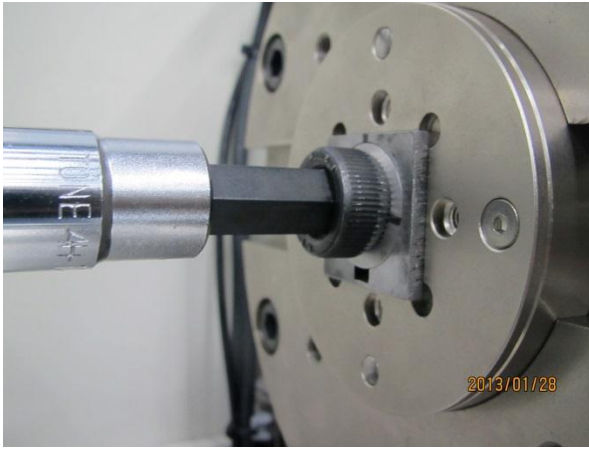
・緩み耐久性能課題への対応

自社開発してきたNAS式試験装置を用いて、様々に試験条件を変え、また川下企業の用途における緩みのメカニズムや緩み原因に関する知見に基づき、それに近い条件を振動試験装置を改造することで再現するなどして、本開発のL/Rネジの緩み耐久性能を確認する。



3-5 緩み防止機構の高度化②

本年度は数多くのTPを作製し衝撃振動試験およびネジトルク試験等の各種試験を実施することで、多くの知見を得られた。それと同時にL/Rネジの高い緩み止め性能による、試験装置と試験治具の高度化に迫られ、これらの技術においても改良を実施した。



従来の標準治具(初年度の様子)



本年度に専用開発した治具



ねじトルク試験機から外れなくなった様子



頭部が壊れたM14ボルト



振動試験機の改良



破断した振動試験機のシャフト

3-5 緩み防止機構の高度化③

L/Rネジのラッチ構造につき、緩みにくさに関しては技術が確立された。
さらに、エンドユーザーから強く望まれている緩めたい場合に取り外すことができるラッチ構造への高度化研究を行った。

素材、硬度(熱処理、表面処理等)、ラッチ部形状、ラッチ数、ラッチ角度等の要素の組み合わせにより、ユーザーニーズに合わせたカスタマイズが可能であることが確認できた。

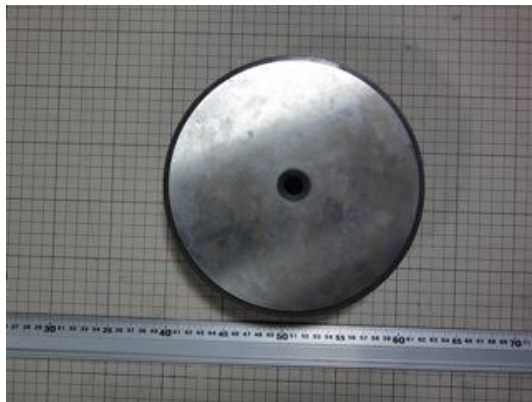
また、導入した圧造機では加工できないN14サイズのラッチ部構造を、汎用的圧造機を用いて加工するテストを行った。



ナット用金型



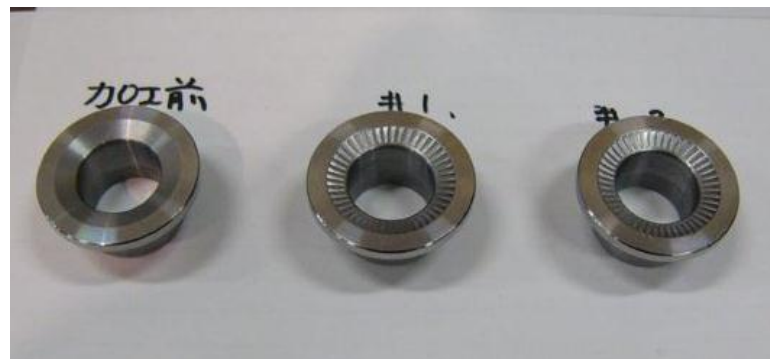
ナット試作品



金型冶具



圧造試験



圧造過程

3-6 まとめ

ナットフォーミング技術の開発においては、初年度に製作した専用圧造装置と、Lナット用金型及びRナット用金型を用いて、高速鍛造で製作する目標を達成した。

両ナットともに、当初見られた目標形状との相違は、ダイス改良を重ねることで排除に成功し、L/Rネジ特有の特殊なラッチ形状の圧造も完成した。

製品構造の高度化においては、JIS B0251に準拠したねじゲージの通過が目標である。N8サイズにおいては初年度に達成した。

製品強化構造の開発においては、JIS B1051に規定の機械強度(強度区分8.8同等以上)の達成が目標である。

L/Rネジのナット嵌合耐久強度向上を容易且つ効果的に図る為、表面処理による手法を開発した。特にSUS材を高密度プラズマ窒化法によって表面処理するというアプローチでありながらネジ部の断面積率として約30%が高硬度化領域となり、表面処理によるネジ強度の向上を実現した。

緩み防止機構の高度化においては、数多くのTPを作製し、自社開発して当社研究開発センターに設置した衝撃振動機による試験及び、東京都立産業技術研究センターの装置を利用したネジトルク試験を実施した。

試験と新たなTPの設計・製作を繰り返すことで、目標とした「緩まない」最適ラッチ構造への高度化達成に成功した。

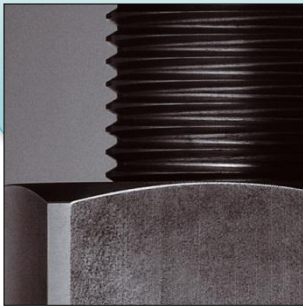
更にユーザーからニーズの高い「緩まないが外せる」ラッチ構造への高度化研究を行い、目標を満たす要素(素材、表面処理、ラッチ部構造等)を見出すことにも成功した。

開発目標値である、衝撃振動試験NAS3350/3354に準拠した17分間耐久テストにも合格し、目標を達成することができた。

第4章 評価技術の開発

4-1 はじめに

③ 評価技術の開発



- ▶ 【3-1】 社内規格定義の決定
- ▶ 【3-2】 良品・不良品の線引き基準の確立
- ▶ 【3-3】 高速不良品判別手段の開発

L/Rネジ山

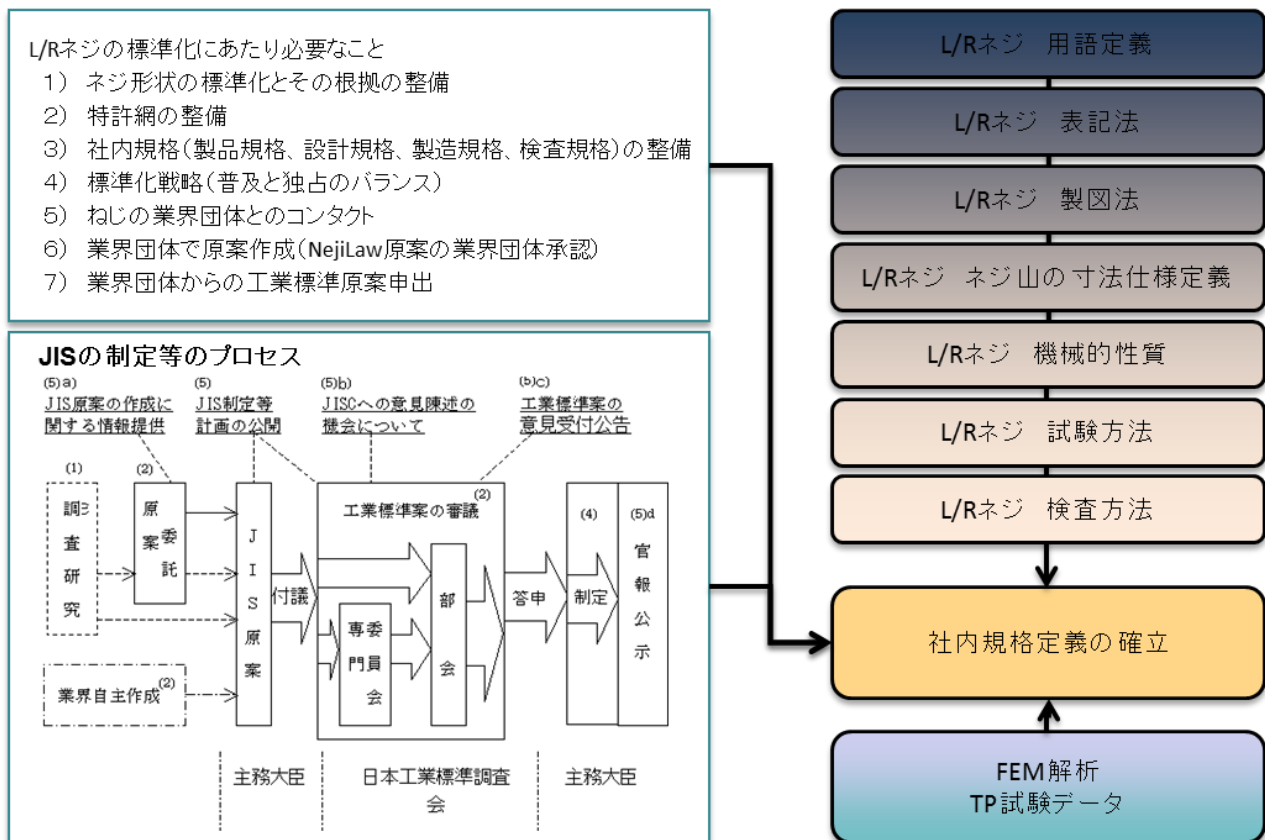
L/Rネジの普及には、ユーザビリティと信頼性の高度化が不可欠である。ユーザビリティの高度化には、製品その物の構造によるものの他、ユーザーによる寸法選定や確認、強度選定等を客観的且つ容易に行い得るように計らって行くことが肝要である。そこで、まずはL/Rネジの社内規格を確立することが先決であるが、それと共に当社内規格を社外でも通用しやすくするためにはJIS等の規格化を進めることも重要である。その第一歩として、社内規格化を進めるためにもJIS規格制定プロセスの調査・検討を行うものである。また、規格化を進める上で重要になるのが、良品と不良品の線引き基準の確立である。更に、良品か不良品かを、量産速度に対応した速度で判別し得るようにすることは、インタイムで全数検査を可能とすることになり大変有益である。

4-2 社内規格定義の決定

製造の再現容易性、製品の品質安定性、製品の機械強度特性、製品の使用性、製造の経済合理性、従来ねじとの関係性等の観点からL/Rネジの材質・構造・形状・寸法・精度・強度を社内規格化し、川下企業が取り扱いやすいものとする。

社内規格定義にあたっての方針

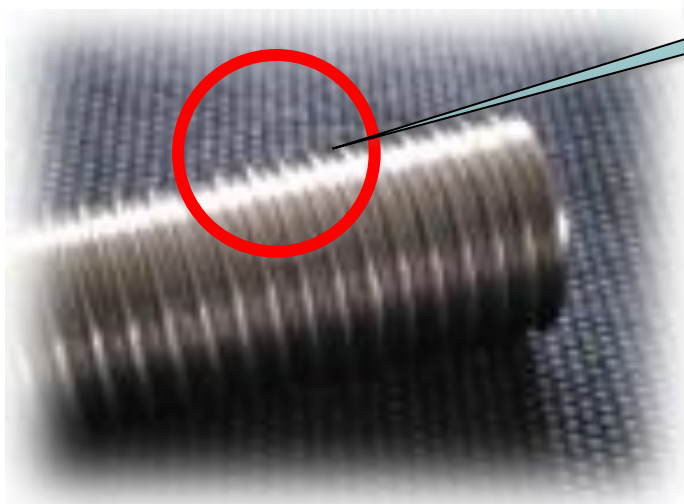
初年度に行った上記プロセスを踏まえ、今年度はFEM解析とTP試験データ収集を行った。これらのデータを反映させ、N1.4の社内規格に関し、目標としたはめあい公差範囲 (ISO等級、g6、H6) を参考として定義決定が達成された。



4-3 良品・不良品の線引き基準の確立



不良加工前



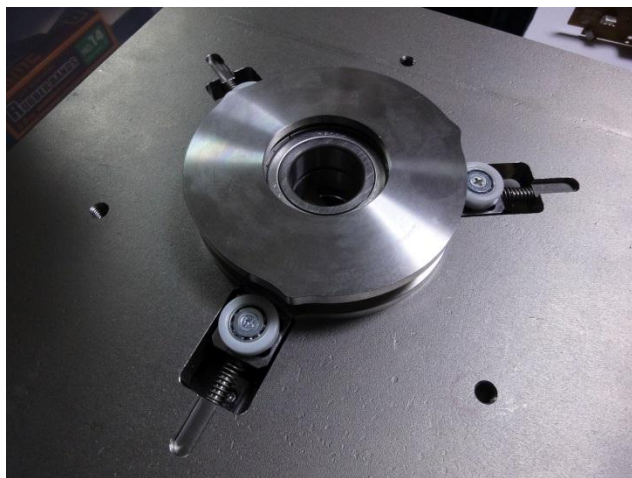
異形作出部

不良加工後

4-4 高速不良品判別手段の開発①

三次元構造のL/Rネジ山を有するL/Rボルトの形状測定と、その測定結果に対する良否の判別は、従来のねじの検品システムでは不可能なので、L/Rネジの検品専用の機械装置の開発を行った。

初年度に開発導入した撮像装置の高度化を行い、心臓部とも言える「逆円錐型反射装置（＊初年度予算で特許出願済み）」の加工手法につき試行錯誤を重ねた。単純な平滑度のみでは表面うねりの排除に至らなかったが、高度な加工技術の導入によって、排除することに成功した。



4-4 高速不良品判別手段の開発②

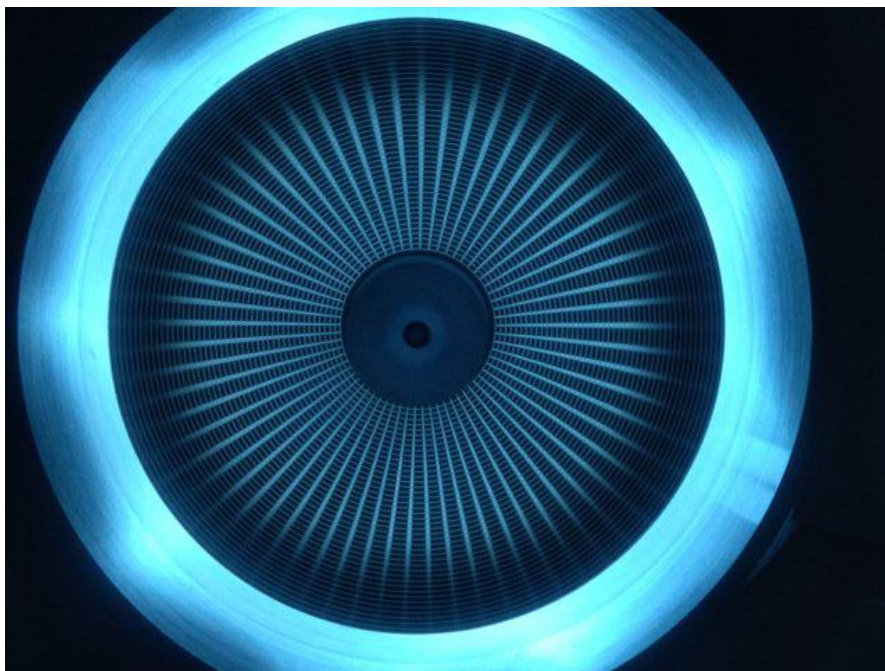
前述の逆円錐型反射装置によるボルトの試験画像から、表面うねりによる歪みは排除することができたが、従来型光源が原因で発生するハレーション現象が発生してしまった。

従来型光源の使用では、光の散乱を原因とする光度差により、細かな影ができて形状判断を誤らせることを予測しており、試験装置により実際の発生が確認できたものである。

そこで新規に「円筒型消影効果光源（*2年度目予算で特許出願済み）」の開発を行い、影の排除に成功した。

さらに、画像分析精度向上のため被写体への供給光量を引き上げるために「平板型消影効果光源（*3年度目予算で特許出願済み）」の開発を行い、検査撮像装置へ組み込むことができた。

ボルトのネジ山部を解析するための画像解析プログラム開発は計画通り進捗し、検査撮像装置によって取得された静止画像から、山部と谷部を解析可能となり、ネジ表面等のさび等の異常検出も可能となった。



平板型消影効果光源を用いた検査用撮像画像（性能検査用TPを撮影）

4-5 まとめ

社内規格定義の決定においては、目標を「L/RボルトやL/Rナットの交差範囲g6、H6 (ISO等級)」と設定した。N8サイズ、N1.4サイズともに定義決定を行い、計画を達成した。

良品・不良品の線引き基準の確立においては、検査装置の分解能・測定精度の $0.02 \pm 0.01\text{mm}$ レベルを目標と設定した。

高速不良品判別手段の開発においては、検査装置の開発および転造速度30m/分以上の検査速度達成が目標設定されている。

L/Rネジは回転体形状ではないことから従来のねじ検査手法を用いることができないため、ねじ部の全周を一枚の画像で撮影することができる「逆円錐型反射装置(*初年度予算で特許出願済み)」の開発を行い、更に、既存技術に拠る光源では排除することができないハレーション問題に対し、新規に「円筒型消影効果光源(*2年度目予算で特許出願済み)」の発明と開発に成功し、最終年度においては、画像分析精度向上のため被写体への供給光量を引き上げるために「平板型消影効果光源(*3年度目予算で特許出願済み)」の開発を行い、検査撮像装置へ組み込みを行った。

ボルトのネジ山部を解析するための画像解析プログラム開発は計画通り進捗し、検査撮像装置によって取得された静止画像から、山部と谷部を解析可能となった。

合否判定に最低限必要な画像情報にまで撮像データを軽くすることにより高速化のチューニングを行った。これによって、ボルトのネジ山部を解析する速度が向上し、静止画像から山部、谷部を、N8ボルト0.5本/秒で解析が可能となり、目標の「転造速度30m/分以上」を、設定時の $N8 \cdot L=100$ で換算すると、0.5本/秒となることから、目標を達成した。

第5章 全体のまとめ

テーマ	課題	目標	進捗と次年度以降の計画
【1】製造プロセス・製造装置の開発	【1-1】製造プロセスの開発	特殊なエラー現象の排除。	初年度N8、2年度目にはN1.4においてそれぞれ、エラー現象の排除に成功した。
	【1-2】製造装置の開発	SUS304、SUS316、チタン、ハイテン等の難加工材を用いた転造。	本年度に予定したダイス表層強度の確認が予定通り完了した。
【2】要素技術の開発	【2-1】ナットフォーミング技術の開発	右ねじナット、左ねじナットを30m/分以上の高速鍛造で製作。	Lナット用及びRナット用の金型を用いた高速鍛造を予定通り達成した。
	【2-2】製品構造の高度化	JIS B0251に準拠したねじゲージを通過。	N8のねじゲージ通過は初年度に達成した。
	【2-3】製品強化構造の開発	JIS B1051に規定の機械強度（強度区分8.8同等以上）	N14において目標強度を上回る強度区分12.9レベルの性能の達成を確認した。
	【2-4】緩み防止機構の高度化	衝撃振動試験規格NAS3350/3354、17分間耐久	今年度目標とした緩まない構造の設計は達成された。更なる高度化で、緩まないが外せる構造の実現の目標を達成した。
【3】評価技術の開発	【3-1】社内規格定義の決定	L/RボルトやL/Rナットの交差範囲g6、H6（ISO等級）	N8およびN1.4の社内規格定義決定は達成した。
	【3-2】良品・不良品の線引き基準の確立	検査装置の分解能・測定精度の0.02±0.01mmレベル	基準の元となる仕様の策定を行った。線引の基準は予定通り、CCDの最小画素単位において設定精度を達成した。
	【3-3】高速不良品判別手段の開発	検査速度は、転造速度30m/分以上。	特許出願3件を含む開発を行い、検査装置の製作に成功した。速度の高速化は、設定時のN8・L=100換算すると、0.5本/秒となることから目標を達成した。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。