

令和元年度  
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

「作業時間を1/2にする新型ドリルねじの研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年5月

担当局 近畿経済産業局  
補助事業者 公立大学法人大阪

## 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（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者） ..... | 1 |
| 1-3 | 成果概要 .....                      | 5 |
| 1-4 | 当該研究開発の連絡窓口 .....               | 6 |

### 第2章 本論

|     |                         |    |
|-----|-------------------------|----|
| 2-1 | 切れ味評価法確立 .....          | 7  |
| 2-2 | 新しい先端部形状の開発 .....       | 8  |
| 2-3 | 先端部強靱性最適化 .....         | 19 |
| 2-4 | 大量生産での先端部形状管理法の確立 ..... | 20 |

### 最終章 全体総括

|   |                      |    |
|---|----------------------|----|
| 1 | 研究開発成果 .....         | 22 |
| 2 | 研究開発後の課題・事業化展開 ..... | 23 |

## 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

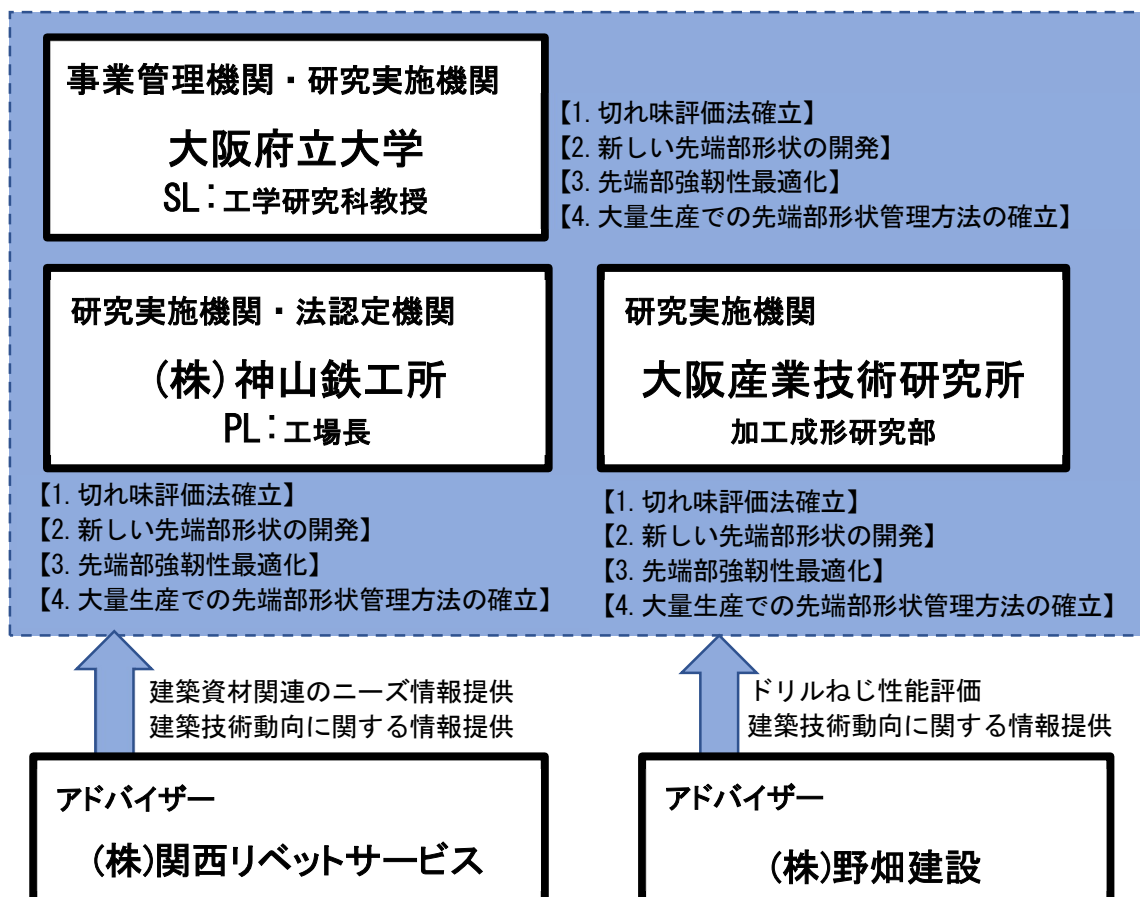
ねじは多くの場面で必要とされ国内の年間生産量は約 290 万トン（約 8,000 億円）であり、うち 30 万トンが輸出され、20 万トンが輸入されている。すなわち約 280 万トンが国内で消費されていることになる。これを本数に換算すると優に 3000 億本が締結に使用されていることになる。

年間約 100 万件の新設住宅着工件数のうちでも、耐震性がより切実に求められる現在、軽量・重量鉄骨造の受託施工件数は、全体の 5% 以下であるが、その総数は大きく増加している。労働コストが高い我が国において、製造業が競争力を維持し続けていくためには、限られた労働力で高い付加価値を生み出していく仕組みを構築することが不可欠である。ドリルねじは接合用部品として多用されており、接合工程における作業の効率化は、住宅建築の生産性向上につながる。

また、これら住宅の1戸あたりのねじ使用数は 10,000 本から 15,000 本と言われる。中でも予め下穴を開ける必要のないドリルねじは作業時間の短縮を実現することができ、建築人材の不足が叫ばれている現状ではさらなる作業時間短縮にニーズが高い。そこで、本研究では、特に軽量・重量鉄骨住宅での耐震性向上のために、より大型のねじをドリルねじとして下穴なしでの短時間作業を可能にし、作業効率を大幅に向上させる目的から、従来の刃先形状の革新を行い、これを正確に再現し続ける生産技術の開発を行う。

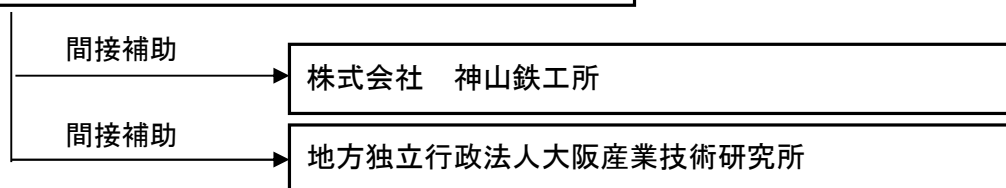
### 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

#### （1）共同体メンバー相互の関係



## (2) 履行体制図

補助事業者 公立大学法人大阪（大阪府立大学）



総括研究代表者（PL）

所属：株式会社神山鉄工所

役職：取締役 桜井工場長

氏名：朱山 祝浩

副総括研究代表者（SL）

所属：公立大学法人大阪 大阪府立大学

役職：大学院工学研究科 教授

氏名：金野 泰幸

## (3) 管理員、研究員及び補助員

【補助事業者】公立大学法人大阪（大阪府立大学）

## 管理員

| 氏 名    | 所属・役職                                     | 実施内容(番号) |
|--------|-------------------------------------------|----------|
| 中 島 淳  | 研究推進本部 研究推進課 課長                           | 事業管理     |
| 日 高 伴紀 | 研究推進本部 研究推進課 課長代理                         | 事業管理     |
| 笹 谷 幸裕 | 研究推進本部 研究推進課<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月) | 事業管理     |
| 大 岡 明裕 | 研究推進本部 研究推進課                              | 事業管理     |
| 荒 木 輝男 | 研究推進本部 研究推進課<br>(平成 30 年 9 月～令和 2 年 3 月)  | 事業管理     |

## 研究員

| 氏 名    | 所属・役職             | 実施内容(番号)     |
|--------|-------------------|--------------|
| 金野 泰幸  | 大学院工学研究科 教授       | 【1】【2】【3】【4】 |
| 辻 川 正人 | URA センター センター長、教授 | 【1】【2】【3】【4】 |
| 柴 原 正和 | 大学院工学研究科 准教授      | 【1】【2】【3】【4】 |

## 補助員

| 氏 名    | 所属・役職                                     | 実施内容(番号) |
|--------|-------------------------------------------|----------|
| 松本 環   | 研究推進本部 研究推進課<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月) | 事業管理     |
| 藤川 千純  | 研究推進本部 研究推進課<br>(平成 31 年 4 月～令和 2 年 3 月)  | 事業管理     |
| 五百蔵一成  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月)        | 【1-1】【3】 |
| 河尻 義貴  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 30 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 前田 新太郎 | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 30 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 家下 輝也  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 臼杵 龍太  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 30 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 山田 祐介  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 本藤 裕佑  | 工学研究科<br>(平成 29 年 9 月～平成 30 年 3 月)        | 【1-1】【2】 |
| 芦田 峻   | 工学研究科<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)         | 【1-1】【2】 |
| 沖見 優衣  | 工学研究科<br>(平成 31 年 4 月～令和 2 年 3 月)         | 【1-1】【2】 |
| 李 志浩   | 工学研究科<br>(平成 31 年 1 月～令和 2 年 3 月)         | 【1-1】【2】 |

## 【間接補助事業者】

株式会社 神山鉄工所  
研究員

| 氏 名   | 所属・役職     | 実施内容(番号)     |
|-------|-----------|--------------|
| 神山 貴至 | 代表取締役社長   | 【1】【2】【3】【4】 |
| 朱山 祝浩 | 取締役 桜井工場長 | 【1】【2】【3】【4】 |

|        |                                       |              |
|--------|---------------------------------------|--------------|
| 今西 良一  | 技術開発課 課長<br>(平成 29 年 9 月～平成 31 年 3 月) | 【1】【2】【3】【4】 |
| 浅田 幸一郎 | 技術開発課 係長                              | 【1】【2】【3】【4】 |
| 山本 雄大  | 桜井工場長付<br>(平成 30 年 10 月～令和 2 年 3 月)   | 【1】【2】【3】【4】 |

## 補助員

| 氏 名   | 所属・役職                                   | 実施内容(番号)     |
|-------|-----------------------------------------|--------------|
| 中西 康仁 | 技術開発課 班長<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)    | 【1】【2】【3】【4】 |
| 菅原 学  | 生産課 2 係 係長<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)  | 【2】【4】       |
| 中野 将宏 | 生産課 2 係 班長<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)  | 【2】【4】       |
| 宮崎 和也 | 生産課 2 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |
| 田中 雅俊 | 生産課 2 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 1 年 9 月)     | 【2】【4】       |
| 藤山 浩司 | 生産課 3 係 班長<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)  | 【2】【4】       |
| 川崎 節樹 | 生産課 3 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |
| 河島 俊次 | 生産課 3 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 1 年 9 月)     | 【2】【4】       |
| 大隅 章寛 | 生産課 3 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |
| 小堀 喬史 | 生産課 3 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |
| 西浦 巧  | 生産課 3 係<br>(平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |
| 榊原 誠治 | 生産課 1 係 係長<br>(平成 30 年 10 月～令和 2 年 3 月) | 【2】【4】       |
| 木下 潤哉 | 生産課 1 係<br>(平成 30 年 10 月～令和 2 年 3 月)    | 【2】【4】       |
| 江草 豊  | 商品センター課<br>(平成 31 年 4 月～令和 2 年 3 月)     | 【2】【4】       |

|        |                                     |        |
|--------|-------------------------------------|--------|
| 長谷川 雄亮 | 商品センター課<br>(平成 31 年 4 月～令和 2 年 3 月) | 【2】【4】 |
|--------|-------------------------------------|--------|

地方独立行政法人大阪産業技術研究所

研究員

| 氏 名   | 所属・役職                       | 実施内容(番号)     |
|-------|-----------------------------|--------------|
| 足立 和俊 | 加工成形研究部 精密・成形加工研究室<br>研究室長  | 【1】【2】【3】【4】 |
| 安木 誠一 | 加工成形研究部 精密・成形加工研究室<br>主任研究員 | 【1】【2】【3】【4】 |
| 川村 誠  | 加工成形研究部 精密・成形加工研究室<br>研究員   | 【1】【2】【3】【4】 |

アドバイザー

| 氏 名   | 所属・役職                    | 実施内容                             |
|-------|--------------------------|----------------------------------|
| 高田 和弘 | 株式会社 関西リベットサービス<br>代表取締役 | 建築資材総合商社として、建築市場について助言           |
| 野畑 吉一 | 株式会社 野畑建設<br>代表取締役       | 建築施工業者としてドリルねじ性能の評価等技術的ニーズに関する助言 |

### 1-3 成果概要

#### 1. 切れ味評価法確立

ドリルねじの試作評価をより詳細に行うために、従来の試験機に比べ測定項目を増やした新規ドリルねじ切れ味評価装置を開発した。また、同設備の新機能を活かすために、切削安定領域と名付けた切削進行状態における各測定値の平均結果を代表値として扱う、新たな評価基準を確立し、より定量的な評価を可能とした。

#### 2. 新しい先端部形状の開発

CAE 解析を用いた刃先性能評価及び 5 軸加工機による試作品製作により、従来のドリルねじ刃先と異なる形状を検討した。また、新形状の確立後は、加工精度の向上、製品形状のばらつきを低減するために導入した諸設備を用いて試作品を製作し、製造上に問題がないか確認した。

### 3. 先端部強靱性最適化

大量生産による低価格と下穴なしの軟鋼板への穴あけとねじ切りという高性能が求められるドリルねじの材質は基本的には浸炭焼き入れ鋼であり、この材質の表面硬さと靱性は完全焼き入れを前提とした焼戻し温度で決定される。今回刃先の鋭さを考慮した折損の危険を最小にする熱処理条件を決定した。

### 4. 大量生産での先端部形状管理法の確立

従来のねじ頭やねじ山を検査するねじ選別機に、ドリル刃先を検査する機構を加えたねじ選別機を製作し、刃先の圧痕や疵の選別を可能とした。

#### 1－4 当該研究開発の連絡窓口

公立大学法人大阪 大阪府立大学  
研究推進本部 研究推進課 課長代理 日高 伴紀  
TEL: 072-252-9686  
FAX: 072-254-9874  
E-mail: thidaka@ao.osakafu-u.ac.jp

株式会社 神山鉄工所  
代表取締役社長  
神山 貴至  
TEL: 06-6782-2255  
FAX: 06-6782-3257  
E-mail : ta.kamiyama@kamiyama-tekkosho.co.jp

## 第2章 本論

### 2-1 切れ味評価方法確立

高性能の新型ドリルねじ刃先を開発するためには、詳細且つ運用が簡単な評価方法が必要不可欠である。従来のドリルねじ切れ味評価装置としては、ねじ込み開始から穿孔が完了するまでの時間をドリリングタイムとして記録する簡易試験機や、切削中のトルクを測定するトルクアナライザーがあるが、これらの試験機では、切削の進行状況に応じたスラスト、回転数などの切削条件や、切削の進行速度までは計測できず、新規刃先検討において十分とはいえない。そこで、試験中のトルク、スラスト、回転数、軸方向のスライド位置の測定を可能とした新規ドリルねじ切れ味評価装置(図 1)を開発し、同設備を用いた刃先評価方法確立に着手した。

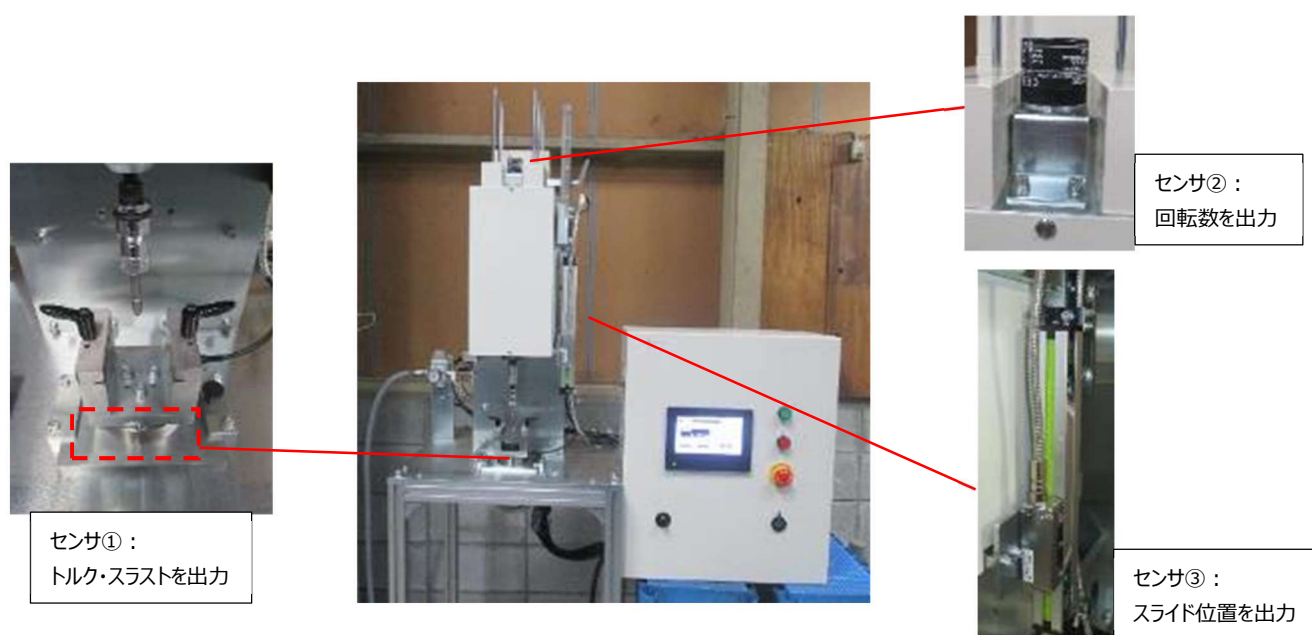


図 1 ドリルねじ切れ味評価装置(SCR-16S)

#### 【2-1-1】切削安定領域における評価方法

新規ドリルねじ切れ味評価装置による試験データ(図 2)を確認すると、刃先の切削進行は次の 3 段階に分けられることが判明した。初めに、切削が始まってから切削の速度(以下:送り速度)が連続的に変化する「切削初期」、次に送り速度がほぼ一定となる「切削安定領域」、最後に送り速度が加速度的に上昇する「切削末期」である。また、各段階における切削状態を示したものが図 3 であり、切削初期は切削開始から切刃先全面が被削板に切り込むまでの状態、切削安定領域は切削初期の終わりから切刃先端が被削板から抜けるまでの切刃全面が被削板と接触している状態のことであり、切削末期は先端が抜けてから切刃全体が被削板から抜けるまでを表している。本研究では、特に切削安定領域に着目している。切削安定領域は、図 2 に示すように送り速度やトルクがほぼ一定となる特性を持っており、この特性を活かし、同領域内の各平均値や送り速度を代表値として扱うことができると考えた。そして、この代表値を得ることにより、トルクやスラストなどを一つの値として求められ、グラフの見た目を比べるように相対的な評価を行うのではなく、代表値の具体的な数値差で比較、評価が可能となり、さらには各要素の相関関係を調査するなどの定量的な評価が可能となった。

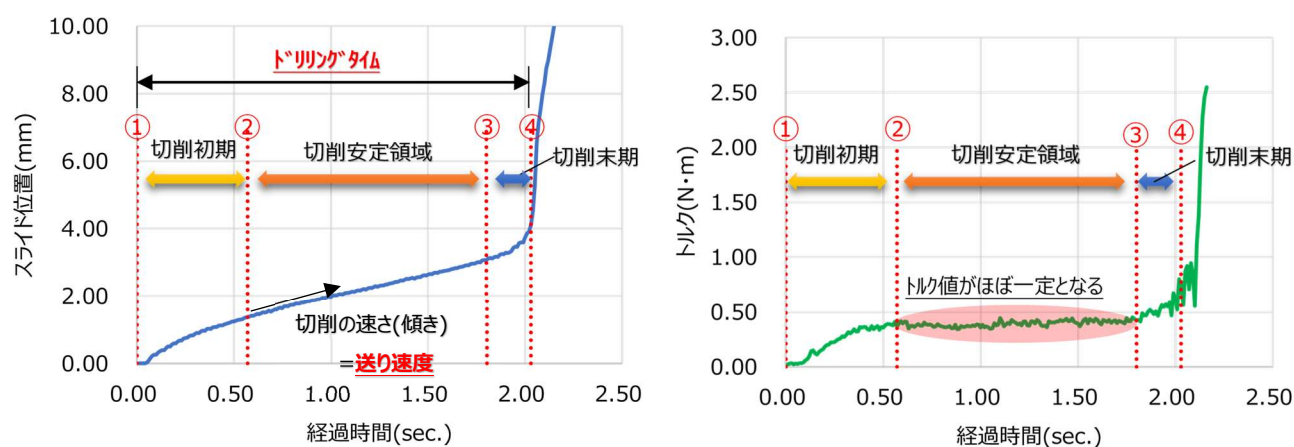


図 2 新規ねじ込み試験による実験データ例

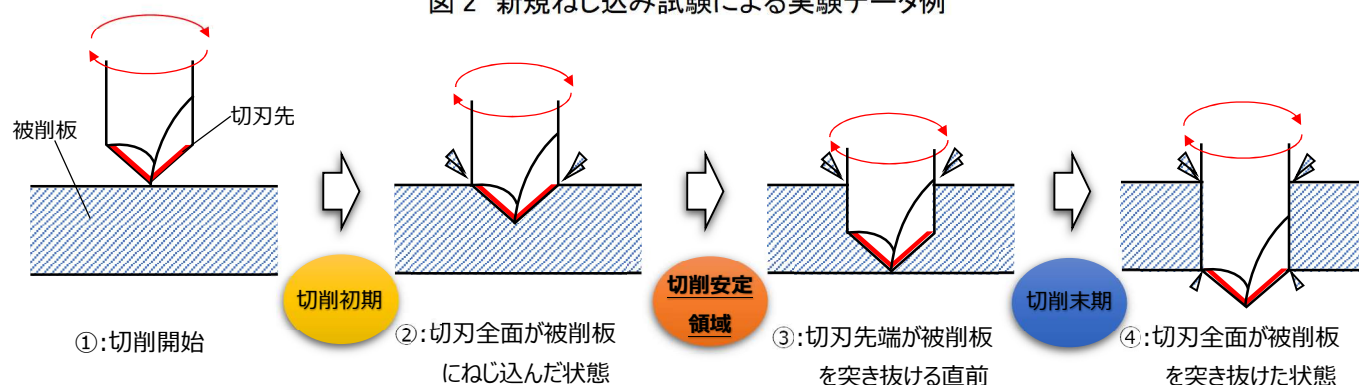


図 3 切削加工の進行形態

## 2-2 新しい先端部形状の開発

本研究においては、CAE 解析による刃先形状検討と新規ドリルねじ切れ味評価装置を用いた実試験により刃先形状の検討を進めた。CAE 解析を用いれば、実試験では測定することのできない法線力等の値まで求められるが、CAE 解析のみで刃先形状を検討することは、一度の解析に掛かる時間を考慮すると現実的ではない。そこで、特に実試験での評価が難しいドリル刃先最先端であるチゼル部を重点的に CAE 解析にて評価を行い、その他の刃先形状を実試験で評価することとした。尚、本来のドリルねじは、決まった形状の金型を作製し、圧造機による鍛造加工により刃先を成形して大量生産している。しかし、本研究における形状検討のための試作加工では、コストのかかる金型を必要とする圧造機ではなく、材料を直接回転工具で切削加工して刃先形状を成形する 5 軸加工機を用いることで、迅速に多様な形状の試作品を製作した。

## 【2-2-1】解析に用いる板の寸法及び材料定数

解析においては、汎用非線形有限要素解析コード Abaqus を使用して、変位量とトルクの時間履歴について計算した。解析を実施した際の入力条件及び解析モデルを図 4 に示す。板の寸法及び材料定数を表 1 に示す。入力条件はドリルねじ切れ味評価装置による実試験を模しており、押し込み力は 225N、回転速度 40 回転/sec として解析を実施した。

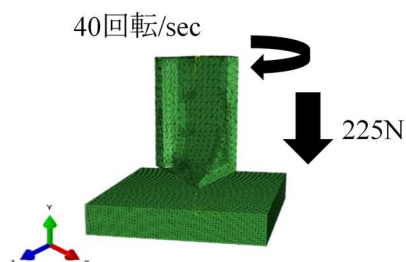


図 4 ドリルねじモデル

表 1 板の寸法及び材料定数

|    |             |                              |
|----|-------------|------------------------------|
| 寸法 |             | 10mm × 10mm × 2mm            |
| 密度 |             | 7.8e-06[kg/mm <sup>3</sup> ] |
| 弾性 | ヤング率:       | 2.1e4[MPa]                   |
|    | ポアソン比       | 0.3                          |
| 塑性 | 降伏応力        | 300[MPa]                     |
| 損傷 | 延性損傷相当塑性ひずみ | 0.2                          |

## 【2-2-2】接触条件

接触面間に、接触すると剛性を発揮するバネを張って釣り合いを保つために、ペナルティ法により一般接触を定義されており、この手法は、物体間に多少の食い込み(干渉)が発生するが、安定して計算できるメリットがある。また、ネジと板間に生じる摩擦力の影響を考慮する必要があるので、摩擦係数を 0.2 に設定し、解析時間短縮のために、マススケーリング係数を 1,000 に設定する。

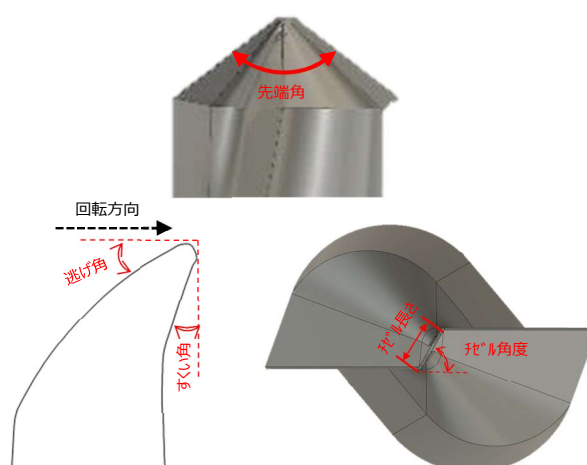
## 【2-2-3】ねじモデルの形状特徴

ねじモデルのチゼルポイント特徴を表 2 に示す。チゼル長さを 3 条件設定し、各チゼル長さに刃先角度を 3 条件ずつ設定した。

表 2 ねじモデル形状

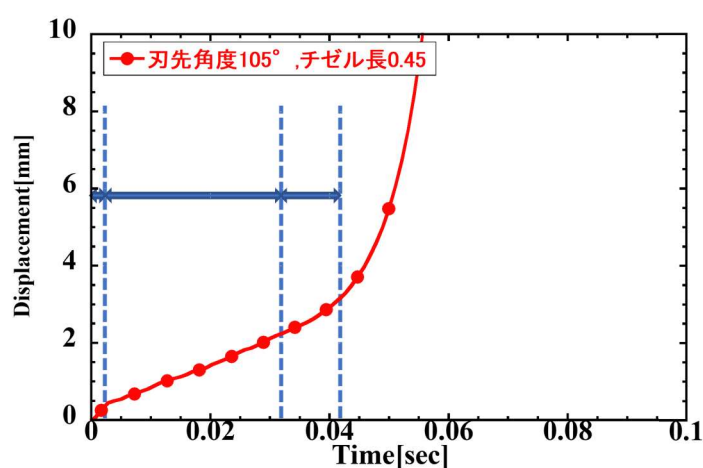
| サンプル<br>コード | 設計値    |       |        |       | 先端角(°) |
|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|
|             | チゼル    |       |        |       |        |
|             | すくい(°) | 逃げ(°) | 長さ(mm) | 角度(°) |        |
| A1          | 10     | 45    | 0.45   | 60    | 90     |
| A2          |        |       |        |       | 105    |
| A3          |        |       |        |       | 118    |
| B1          |        |       | 0.60   |       | 90     |
| B2          |        |       |        |       | 105    |
| B3          |        |       |        |       | 118    |
| C1          |        |       | 0.75   |       | 90     |
| C2          |        |       |        |       | 105    |
| C3          |        |       |        |       | 118    |

参考)各刃先形状要素について

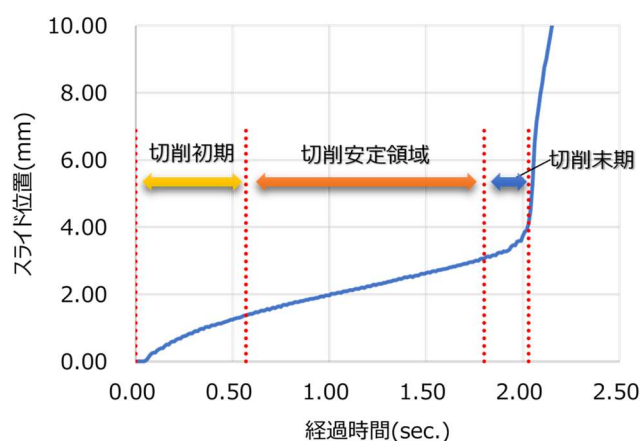


## 【2-2-4】損傷力学モデル解析による切削性能の検討

図 5 にドリルねじ変位量の時間履歴を示す。図 5 内の解析結果を見ると、切削初期、切削安定領域、切削末期が存在しており、ドリルねじ切れ味評価装置による実験値と照らし合わせると、時間とねじ変位量の関係は定性的に一致することを確認した。また、図 6,7 に示すチゼル長と刃先角度において、刃先角度が大きくなるにつれて作業時間長くなることが分かった。刃先角度とトルクの関係については、刃先角度を大きくするとトルクが大きくなる傾向が窺える。また、チゼル長に関しては、チゼル長が長くなるほど作業時間が短くなる傾向となっており、刃先角度  $118^\circ$  の結果において、その傾向はより顕著に表れている。



(a) 解析結果

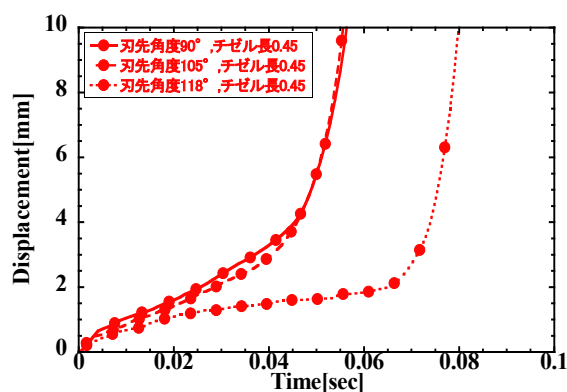


(b) 実験結果

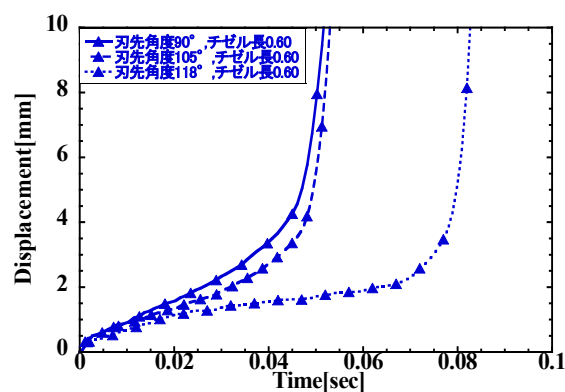
図 5 ドリルねじ変位量の時間履歴

|      |      | チゼル長          |               |               |
|------|------|---------------|---------------|---------------|
|      |      | 0.45          | 0.60          | 0.75          |
| 刃先角度 | 90°  | 貫通時間:0.049799 | 貫通時間:0.046062 | 貫通時間:0.044260 |
|      | 105° | 貫通時間:0.046806 | 貫通時間:0.045825 | 貫通時間:0.045403 |
|      | 118° | 貫通時間:0.072788 | 貫通時間:0.066150 | 貫通時間:0.058805 |

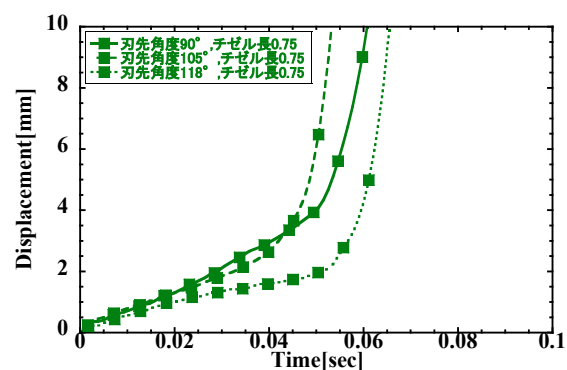
図 6 全体ねじモデルの作業時間(単位:sec)



(i) チゼル長さ 0.45

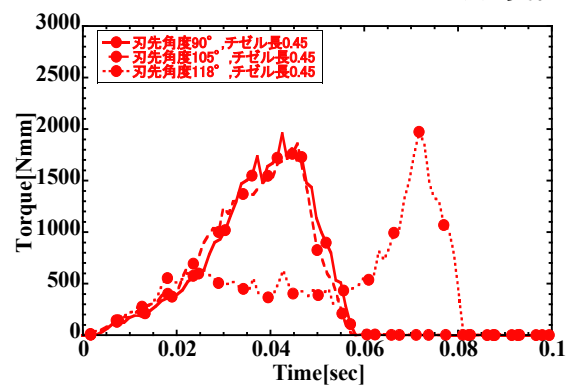


(ii) チゼル長さ 0.60

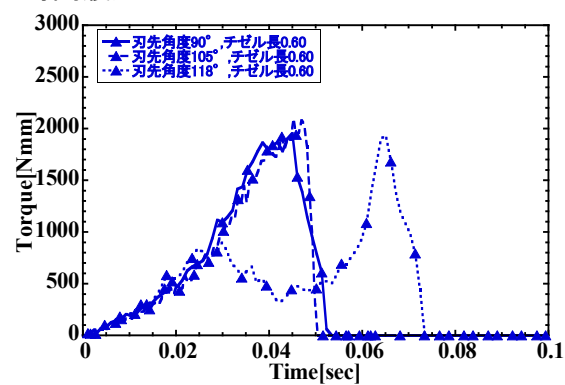


(iii) チゼル長さ 0.75

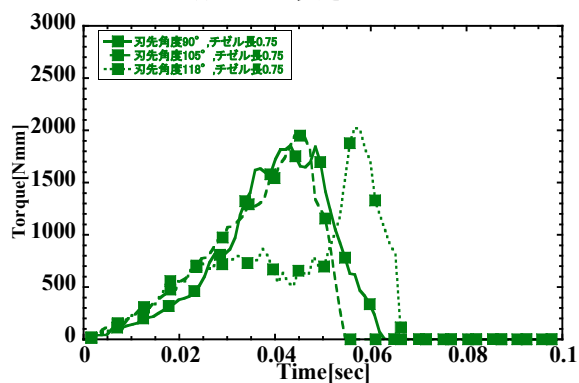
(a) 変位量の時間履歴



(i) チゼル長さ 0.45



(ii) チゼル長さ 0.60



(iii) チゼル長さ 0.75

(b) トルクの時間履歴

図 7 全体ねじモデル変位量及びトルクの時間履歴

【2-2-5】損傷力学モデル解析による強度性能の検討

図 8 にドリルねじ作業過程の最大接触法線力を示す。図 9 にドリルねじ作業過程の最大摩擦せん断力を示す。最大接触法線力及び最大摩擦せん断力における各形状のねじモデルを比較すると、荷重が最も大きいねじモデルは刃先角度 90° チゼル長さ 0.45 であることを確認した。

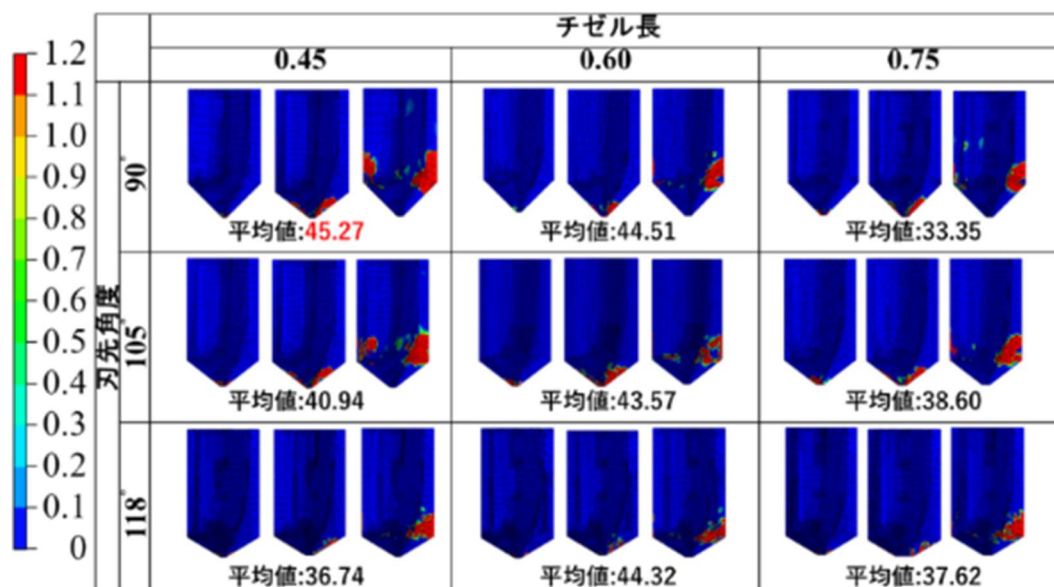


図 8 ドリルねじ作業過程の最大接触法線力

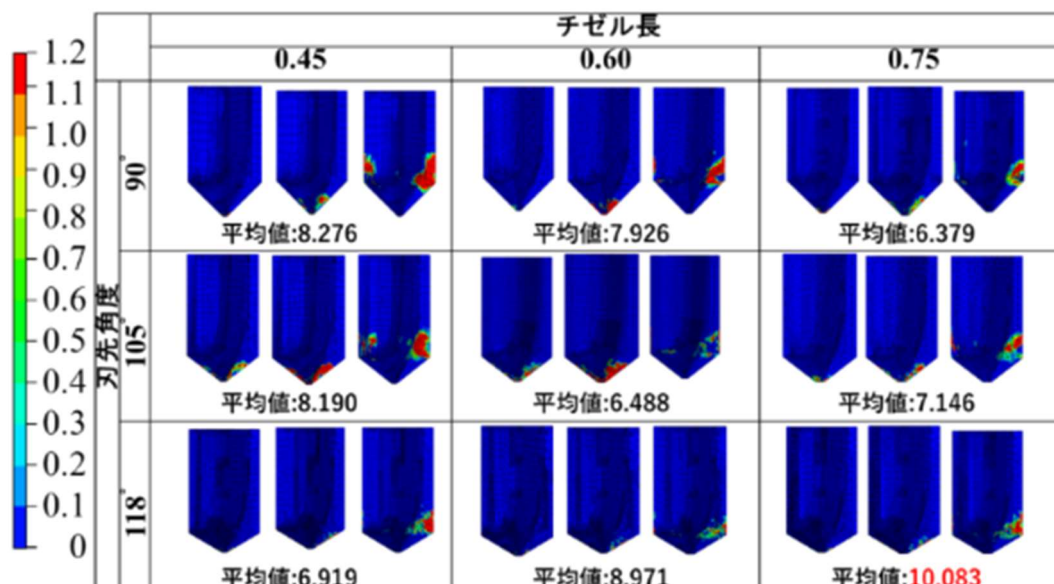


図 9 ドリルねじ作業過程の最大摩擦せん断力

## 【2-2-6】5 軸加工機による試作品製作検討

CAE 解析によるチゼル形状検討を終えた後、その他の形状要素の最適形状を検討するべく、5 軸加工機による試作品製作検討に着手した。5 軸加工機は加工精度が高いため、試作品の形状が設計形状である 3D モデルにほぼ忠実な形状となるが、製品製造における鍛造加工では、工程での様々な要因により、3D モデルとある程度の形状の差異が生じる。そこで、まずは、鍛造加工により製造された製品の三次元形状を工業用 X 線 CT により測定し、その設計形状である 3D モデルとの形状の差異を比較した。図 10 に X 線 CT による製品の三次元形状測定結果と、3D モデルとの刃先断面の比較を示す。

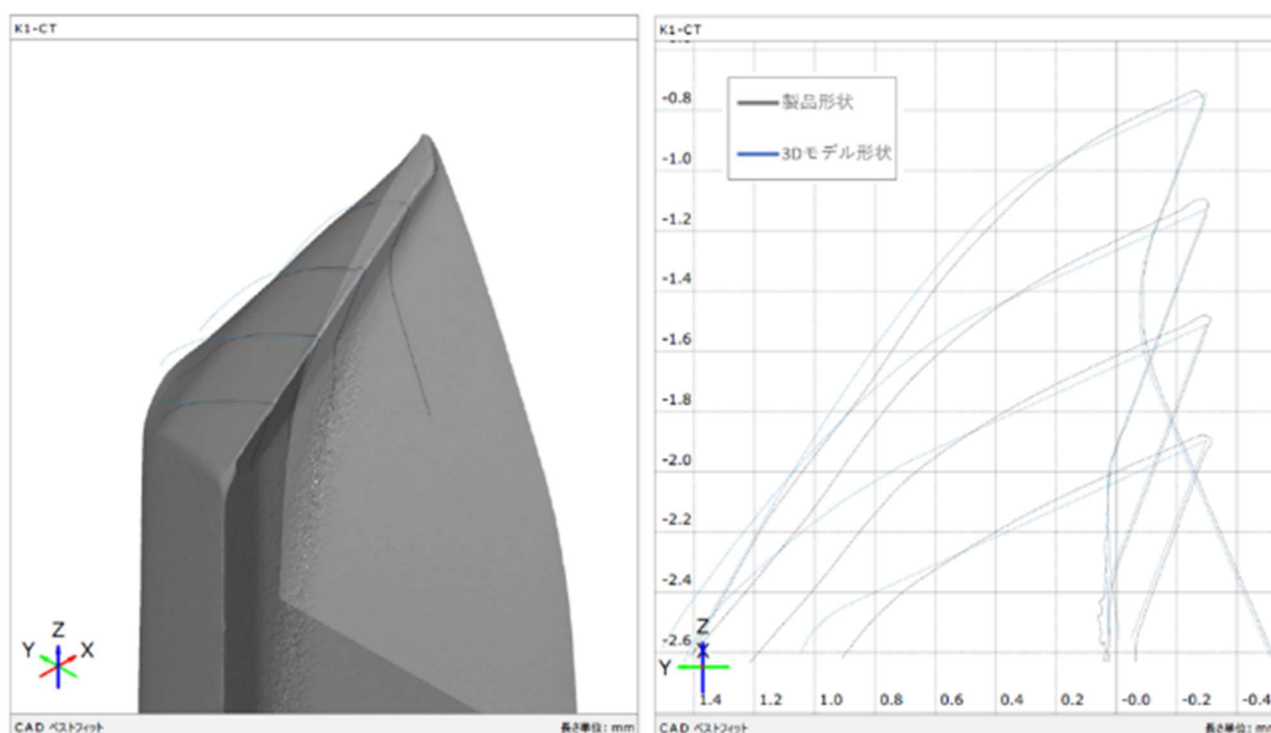


図 10 X 線 CT による製品の三次元形状測定結果と、3D モデルとの刃先断面の比較

5 軸加工機による試作加工工程としては、図 11 に示すように、まず、鍛造加工によって生じる 3D モデルとの差異を加味した 3D モデルを作成し、5 軸 CAM ソフトウェアで加エプログラムを作成し、工作機械シミュレーションソフトで加工条件の確認と最適化を行った後、5 軸加工機での切削加工を行う。3D モデルの形状要素を様々な変化させることで、コストのかかる金型を必要とせず、様々な形状の試作品を高精度に短期間のうちに製作できた。表 3 には実際に作製した試作品の設計値を記す。ここでは、従来製品を模したモデルを基準品とし、次に調査したい形状要素ごとに設計値が異なる 4 条件のモデルを作成した。尚、5 軸切削品については、切削用の材料の入手性の高さからねじ外径 6mm のドリルねじをベースに製作している。



図 11 5 軸加工機による試作加工工程

表 3 試作品の設計値

| 形状要素                | 変更値 | 設計値    |       |        |       |        |       | 先端角<br>(°) |
|---------------------|-----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|
|                     |     | チゼル    |       |        |       | 主切れ刃   |       |            |
|                     |     | すくい(°) | 逃げ(°) | 長さ(mm) | 角度(°) | すくい(°) | 逃げ(°) |            |
| なし(基準品)             |     | 10     | 45    | 0.7    | 60    | 20     | 30    | 105        |
| チゼル<br>すくい角<br>(°)  | -10 | 0      | 45    | 0.7    | 60    | 20     | 30    | 105        |
|                     | -5  | 5      |       |        |       |        |       |            |
|                     | +5  | 15     |       |        |       |        |       |            |
|                     | +10 | 20     |       |        |       |        |       |            |
| チゼル<br>逃げ角<br>(°)   | -10 | 10     | 35    | 0.7    | 60    | 20     | 30    |            |
|                     | -5  |        | 40    |        |       |        |       |            |
|                     | +5  |        | 50    |        |       |        |       |            |
|                     | +10 |        | 55    |        |       |        |       |            |
| 主切れ刃<br>すくい角<br>(°) | -10 | 10     |       | 0.7    | 60    | 10     |       |            |
|                     | -5  |        |       |        |       | 15     |       |            |
|                     | +5  |        |       |        |       | 25     |       |            |
|                     | +10 |        |       |        |       | 30     |       |            |
| 主切れ刃<br>逃げ角<br>(°)  | -10 | 10     |       | 0.7    | 60    | 20     | 20    |            |
|                     | -5  |        |       |        |       |        | 25    |            |
|                     | +5  |        |       |        |       |        | 35    |            |
|                     | +10 |        |       |        |       |        | 40    |            |

## 【2-2-7】5 軸加工品による切れ味評価結果

前項にて製作した 5 軸加工品を用いて切れ味評価を行った。実験条件を表 4、5 に示す。今回の実験目的は各形状要素が作業時間に及ぼす影響を調査することであり、前述の切削安定領域内の代表値を用いた相関関係の評価を用いて調査を行った。表 6 は各要素間の相関係数を示している。表 6 の結果から、主切れ刃の逃げ角と送り速度に弱い相関があり、主切れ刃のすくい角と送り速度に強い相関があることが分かった。また、トルクと送り速度にも若干の相関があることがわかり、切削中のトルクが大きければ大きい程作業時間も短くなる傾向を確認できた。

表 4 実験条件

| 装置  | 切れ味評価装置<br>SCR-19S |
|-----|--------------------|
| 推力  | 200N               |
| 回転数 | 2,500rpm           |

表 5 被削板について

| 鋼種    | 板厚(mm) |
|-------|--------|
| SS400 | 約 4.5  |

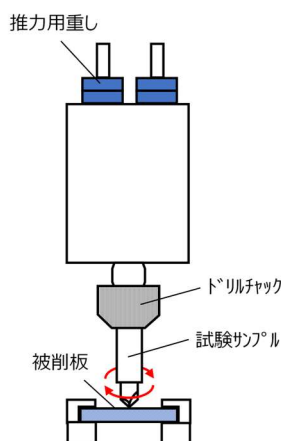


表 6 各要素間の相関係数

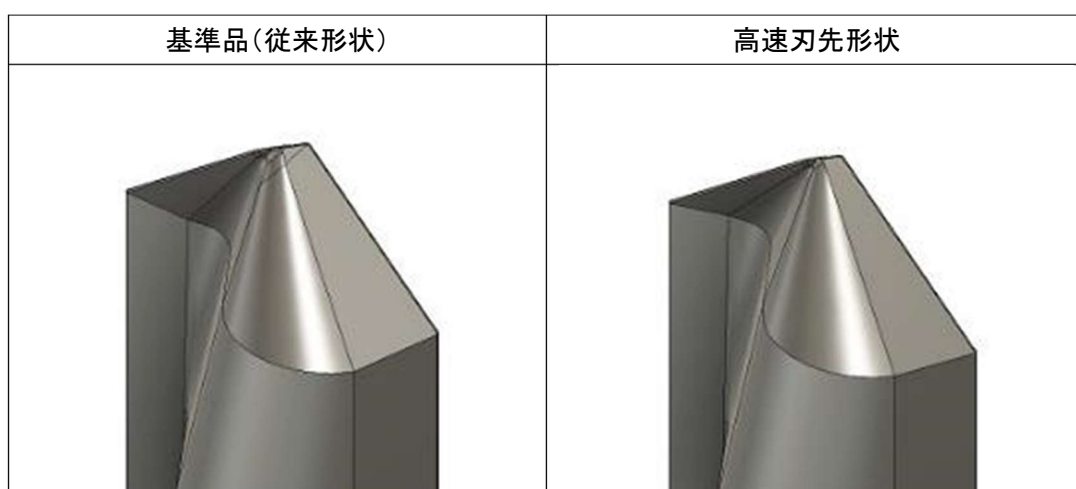
|          | 送り速度  | トルク   |
|----------|-------|-------|
| チゼルすくい角  | -0.10 | -0.19 |
| チゼル逃げ角   | -0.11 | -0.12 |
| 主切れ刃すくい角 | 0.95  | 0.80  |
| 主切れ刃逃げ角  | -0.51 | -0.35 |
| トルク      | 0.62  | -     |

図 12 実験模式図

## 【2-2-8】高速刃先形状の考案及び評価

CAE 解析結果と 5 軸加工品による試作結果から、設計方針を決定し、表 7 に示す高速刃先形状を考案した。高速刃先形状は特に作業時間との関連性が確認できた、主切れ刃のすくい、逃げ角を調整し、また、チゼル長さについても従来形状から変更している。

表 7 高速刃先形状 3D モデル



考案した刃先形状にて5軸加工品試作を行い、ドリルねじ切れ味評価装置による評価を行った。実験条件は表4、5と同様であり、従来形状と高速刃先形状の送り速度及びドリリングタイムを比較することによって評価を行っている。実験結果を図13に示す。従来形状と比較すると、高速刃先形状は送り速度、ドリリングタイム共に性能の向上が確認でき、最速値では、送り速度で0.6(mm/sec.)、ドリリングタイムで約0.5秒の速度向上が見られた。

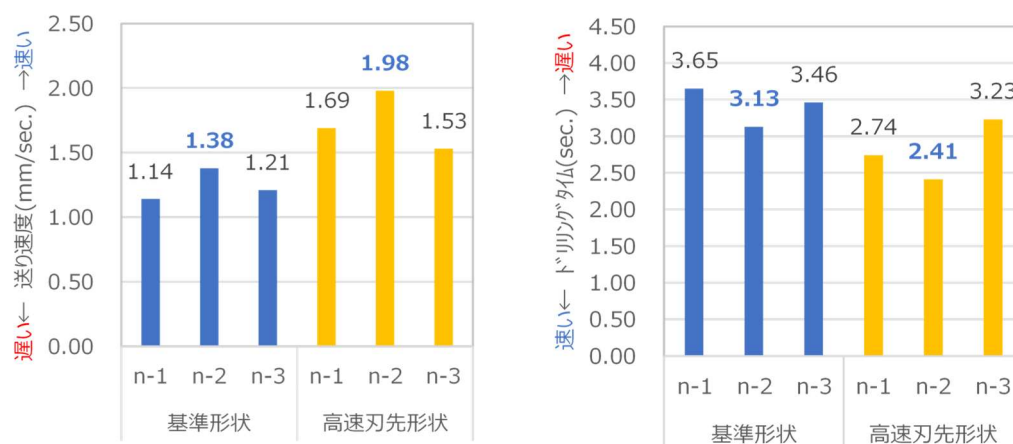


図13 切れ味評価結果

## 【2-2-9】大型ねじの鍛造品試作

これまでは、試作品製作の容易さや試作材料の入手性の高さから、5軸加工機を用いた試作を行い、また、試作品の刃先サイズはねじ外径6mmのドリルねじを想定したサイズで検討を進めてきた。しかし、実際のドリルねじは鍛造加工により生産が行われている為、高速刃先形状の生産可否の確認は生産設備での検証が必要であり、また、本テーマにおいてターゲットとしているのは6mmより大きい大型ねじである。そこで、神山鉄工所が取り扱っている製品において最大型であるねじ外径8mmのドリルねじを、加工精度の向上、製品形状のばらつきを低減するために導入した諸設備を用いて約5000本製作し、生産上の問題点がないか調査を行った。尚、試作品のドリル刃先は前項で得た高速刃先設計思想を8mmのドリルねじに落とし込んだものとなる。

試作品の製作フローを図14に示す。初めに線材の切断とねじ頭を作る頭部成形工程、次に予め作成した刃先モデルと、それによって作られる刃先金型を用いてドリル刃先を鍛造成形する刃先成形工程、そして刃先成形時にできるバリの切除及びねじ山の成形を行うローリング工程、最後にねじの硬度上昇に焼入れ、耐食性向上にめっき加工を行う後処理工程となる。高速刃先形状の生産検証を行う上で特に重要となるのは、刃先成形であるため、同工程に着目して検討を進めた。



図 14 試作フロー

刃先成形を行った所、成形後に刃先とバリの間に隙間を確認した(図 15)。この隙間は刃先の先端形状の安定性を損なうだけでなく、ローリング工程前にバリが脱落する危険性を高め、同工程での搬送中にドリルねじ同士が接触することにより、刃先を傷つけてしまう恐れがある。そこで、隙間発生の問題への対策として、鍛造金型におけるバリ成形部分に、材料の流動制御を目的とした突起を付与した所、隙間の防止が確認できた。上記対策後は、刃先成形を含めた全ての工程において特に問題は発生せず、新規刃先形状であっても適切な刃先成形を行うことによって、生産可能であることを確認した。

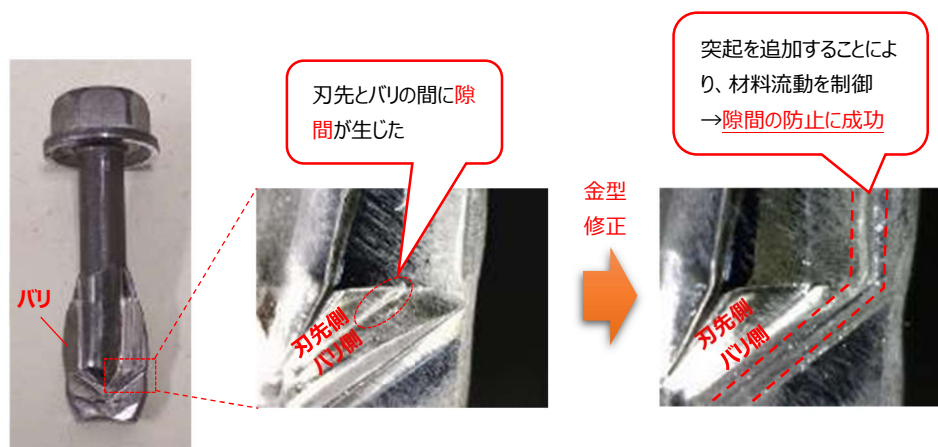


図 15 刃先成形時に発生した隙間について

## 【2-2-10】鍛造品の切れ味評価

鍛造加工により製作した試作品による切れ味評価を行い、従来製品との比較評価を行った。従来製品と試作品でそれぞれ N=10 で実験サンプルを用意し、送り速度及びドリリングタイムにおける最速値による比較、評価を行った。

表 8 実験条件

| 装置  | 切れ味評価装置<br>SCR-19S |
|-----|--------------------|
| 推力  | 200N               |
| 回転数 | 2,500rpm           |

表 9 被削板について

| 鋼種    | 板厚(mm) |
|-------|--------|
| SS400 | 約 4.5  |

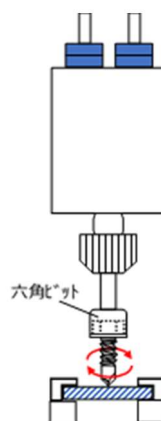


図 16 実験模式図



図 17 鍛造品外

切れ味評価結果を図 18 に示す。送り速度、ドリリングタイム共に、従来製品に比べ試作品が飛躍的に速くなっており、最速値においては、送り速度で従来製品が 0.56mm/sec.、試作品が 1.19mm/sec.となっており、ドリリングタイムでは従来製品が 8.11sec.、試作品が 3.75sec.であり、1/2 以下の作業時間短縮を実現している。以上のことから、本研究テーマにおける主題である、作業時間の 1/2 化は、大型ねじにおいて達成したこととなる。しかし、図 18 の結果をみると、従来製品、試作品のどちらにおいても、突出して速度が遅くなっている場合がある。そこで、該当するサンプルの刃先を調べてみると、速度が遅くなっているサンプルには図 19 に示すようなへこみ疵が存在していることを確認した。このへこみ疵は、熱処理前にねじ同士が接触したことにより発生したものと考えられるが、発生の防止、或いは、その他の対策が必要である。

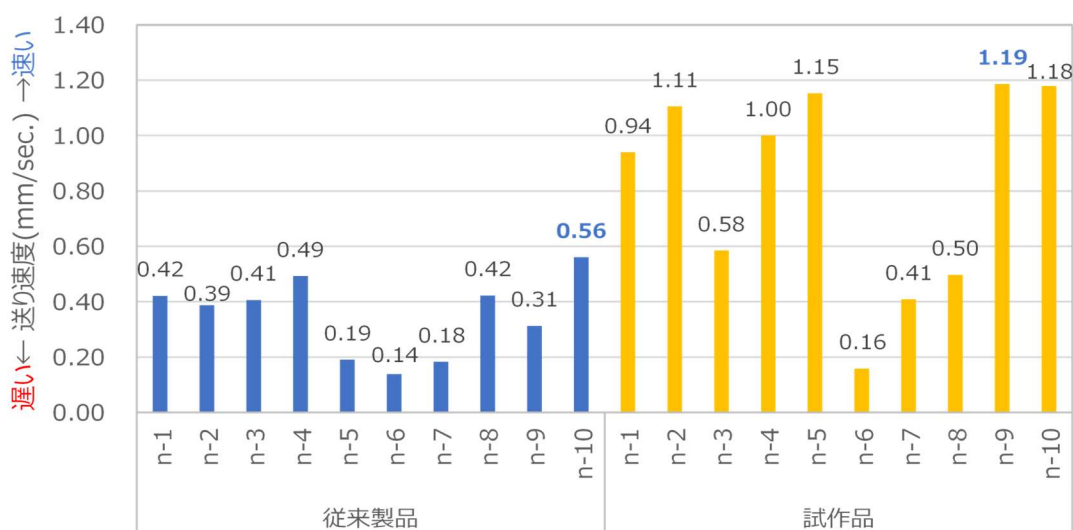


図 18-1 ねじ込み試験結果(送り速度)

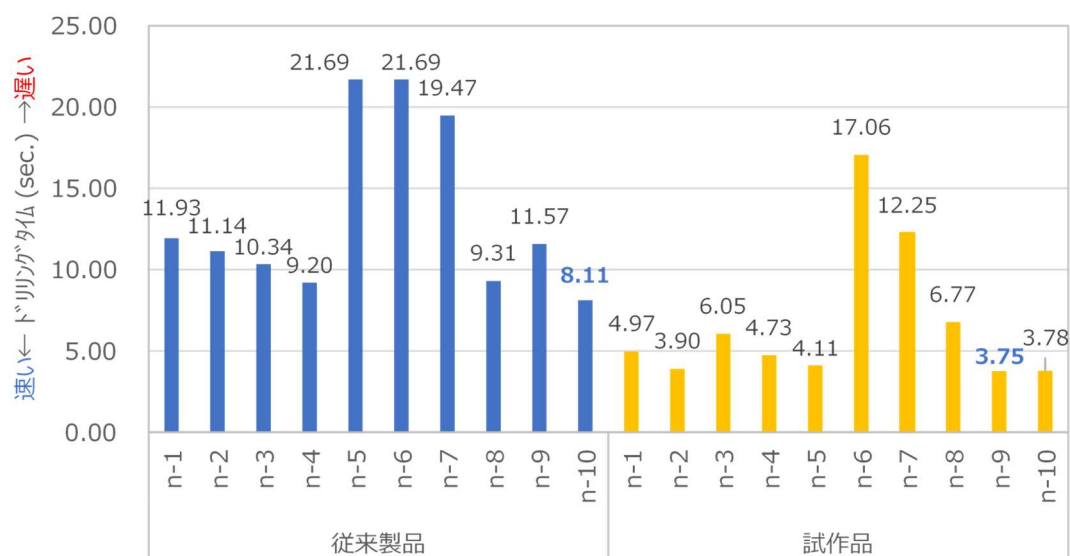


図 18-2 ねじ込み試験結果(ドリリングタイム)

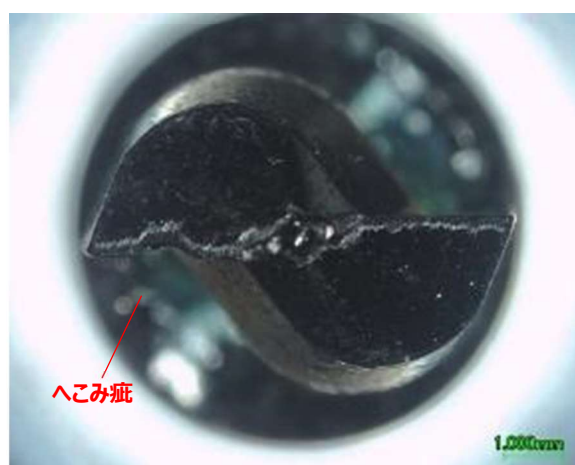


図 19 へこみ疵について

## 2-3 先端部強靱性最適化

ドリルの切れ味は高い硬さが前提である。今回開発した浸炭焼入鋼で表面亜鉛めっきのドリルねじは、一般的な相手材である軟鋼板への下穴なしでの穴あけとねじ切りという過酷な状況での施工時間の短縮を目的としている。そのため、必要十分な浸炭深さを保ちつつ、完全焼入を前提とした上で、インパクトドリルの使用による衝撃での刃先の欠け落ちなどの損傷のリスクを最小にして、切れ味を決定する焼入表面硬さを最大にする焼戻条件が求められた。

ドリルねじの刃先はただ一回のみの使用に耐えれば十分である。しかし、硬さや靱性のばらつきによる刃先の折損などによる施工不可(ねじの廃棄と交換)は作業者の施工リズムを狂わせて生産性を低下させる。そのため、靱性の安定も硬さと同様に重要な評価指針であった。

文献調査と実験室での焼入れ焼戻し実験によって、焼戻し脆性温度直下の高靱性・高強度を期待できる焼戻し温度が浸炭鋼を模した工具鋼での実験で良好な結果を示すことが明らかとなったが、材質の変動への敏感性を考慮して、従来通りの熱処理条件をとるべきであるとの結論に達した。

## 2-4. 大量生産での先端部形状管理法の確立

ドリルねじにおいて、安定した先端部形状を作り続けることは、作業性を保証するために極めて重要である。先端部形状の生産安定性を向上するためには、例えば刃先のへこみ疵等の発生を防止する必要があるが、刃先の疵は、熱処理前の搬送中にねじ同士が接触したことによるものが多く、完全に防止することは難しい。次の対策としては、図 20 に示すような画像選別機を用いて疵が発生したねじの流出を防止する方法がある。しかし、従来のねじ用画像選別機は、上方カメラ、側方カメラを用いてねじ頭やねじ山の成形不良を選別するために開発されたものであり、刃先の選別には対応していなかった。そこで、新たに下方カメラ(図 21)を搭載した画像選別機を製作し、これを利用した刃先選別方法の検討に着手した。



図 20 画像選別機(ULTRAVIEW-4)

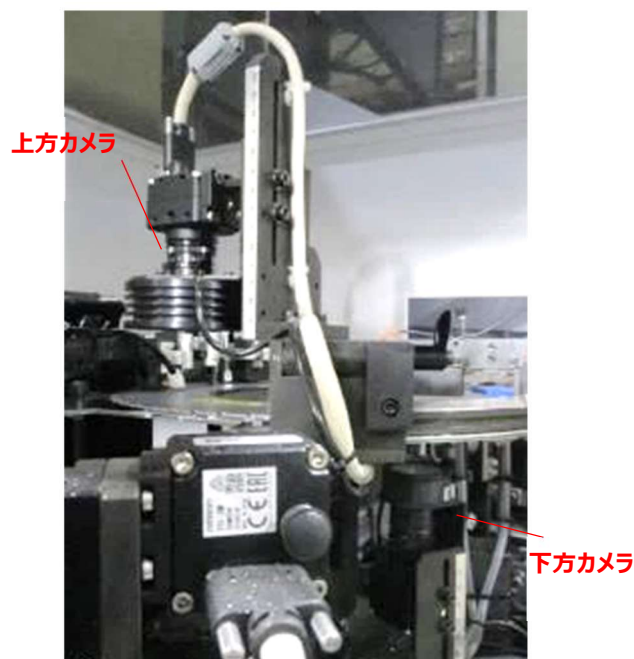


図 21 上方カメラ及び下方カメラ

### 【2-4-1】2 値化による画像選別方法

新たに下方カメラを搭載したことで、刃先を正面から撮影し、選別機上での認識が可能となった。これにより、「【2-2-10】鍛造品の切れ味評価」にて発生していた刃先における疵を選別できるのではないかと考えた。そこで、同検討で発生した刃先疵を模したサンプル(表 10)を作製し、選別可否を調査した。

今回実施した選別方法は刃先正面写真の 2 値化によって行われる。まず初めに、表 11 の選別画像を撮影し、画像上に判別範囲(緑、赤線)を設定する。この時疵部分は、下方カメラの照明によって白く照らされていることがわかる。次に選別画像を 2 値化し、白く照らされた疵部分とその他の部位を 2 色で区別する。そして、最初に設定していた判別範囲内の白色部の面積(ドット数)を計算することによって、疵の大小を判別し、予め設定しておいた、閾値を超えたサンプルを NG とし、下回ったサンプルを OK とする。今回の選別検討では、閾値を

500 と設定し、疵無し品が 463、疵有り品が 890 であったため、それぞれ OK、NG と選別することに成功した。  
以上のことから、疵付き刃先の選別は可能であり、また、閾値の調整により NG 対象とする疵の大きさも調整可能であることを確認した。

表 10 選別用サンプル外観

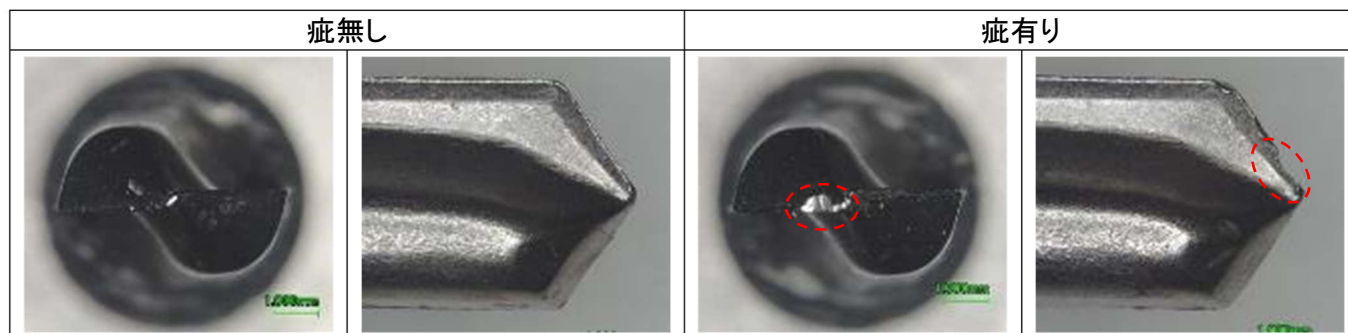
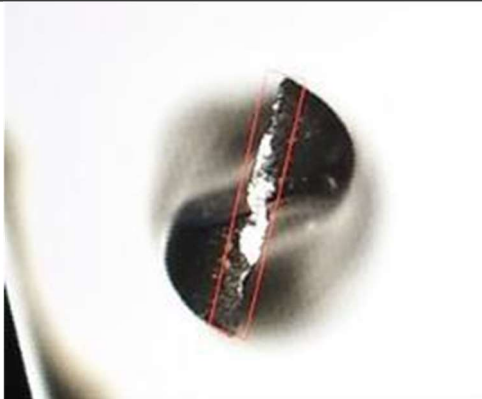


表 11 選別結果まとめ

|       | 疵無し                                                                                                                                                         | 疵有り                                                                                                                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 選別画像  |                                                                           |                                                                          |
| 2 値化後 |                                                                          |                                                                         |
| 選別結果  | <div> <div>[5.面積重心]</div> <div>判定 : OK      判定 : OK</div> <div>面積 : 463.0000      面積 : 463</div> <div>重心X : 325.2592</div> <div>重心Y : 274.5810</div> </div> | <div> <div>[5.面積重心]</div> <div>判定 : NG      判定 : NG</div> <div>面積 : 890.0000      面積 : 890</div> <div>重心X : 320.9798</div> <div>重心Y : 310.9213</div> </div> |

## 最終章 全体総括

### 1. 研究開発成果

本プロジェクトの研究開発成果は以下の通りである。

- (1) 研究開発過程でのドリルねじの詳細な性能評価を可能にする「ドリルねじ切れ味評価装置」の開発に着手し、先端チゼルの食いつきから貫通するまで、時々刻々変化するドリルの進行速度、トルク、スラストなど、要素を細分化して評価できる「ドリルねじ切れ味評価装置」を完成させた。
- (2) 「ドリルねじ切れ味評価装置」により得られた試験データを解析し「切削安定領域」における評価方法を考案。検証の結果、同領域内の各平均値や送り速度を代表値とすることで比較、評価が可能となり、さらには各要素の相関関係を調査するなどの定量的な評価が可能となった。
- (3) 新しい先端形状の開発において汎用非線形有限要素解析コード Abaqus を使用して、損傷力学モデルを用い特にチゼルを中心とした刃先形状検討を実施した。得られた知見は以下の通りである。

解析結果と実験結果は、変位量及びトルク値の時間履歴という点で一致することを確認した。切削性能については、ドリルねじ刃先角度とチゼル長において、刃先角度が大きくなるにつれて作業時間長くなることがわかり、チゼル長に関しては、チゼル長が長くなるほど作業時間が短くなる傾向を確認した。
- (4) 解析による刃先形状検討に加えて、5 軸加工機による試作品加工プロセスを確立した。

これにより 3D モデルの形状要素を様々に変化させることで、コストのかかる金型を必要とせず、様々な形状の試作品を高精度に短期間のうちに製作することを可能にした。5 軸加工機による試作品を用いて、解析で得られなかったチゼル以外の刃先形状要素とドリリングタイムの関係性を調査した所、ドリリングタイムに大きく影響するのは、主切れ刃のすくい角、逃げ角であることを確認した。
- (5) 解析結果と 5 軸加工品による試験結果を基に設計指針を決定し、各形状要素を最適化した高速刃先形状を製作した。ねじ込み試験では、従来形状に比べ高速刃先形状の速度向上が確認できた。
- (6) 上記で得られた結果を基に 8mm 径ドリルねじの鍛造加工による実製品試作を実施。刃先成形工程において問題が発生したが材料の流動制御を行い解決した。対策後は、刃先成形を含めた全ての工程において特に問題は発生せず、新規刃先形状であっても適切な刃先成形を行うことによって、生産可能であることを確認した。
- (7) 実製品試作品と従来品を「ドリルねじ切れ味評価装置」にて比較評価を行い、ドリリングタイムにおいて 1/2 以下の作業時間短縮を確認した。これにより、本研究開発の目標である、作業時間の 1/2 化は、大型ねじにおいて達成した。
- (8) 大量生産での先端部形状管理法の確立に関しては、画像選別機による切削性能に影響を及ぼす疵の選別方法を検証。刃先正面写真の 2 値化により選別が可能となった。また、閾値の調整により NG 対象とする疵の大きさも調整可能であることを確認した。

## 2. 研究開発後の課題・事業化展開

### 2-1 研究開発後の課題

本研究開発における目標である作業時間の 1/2 化は大型8mm径ドリルねじにおいて達成したが、以下の課題を克服することが重要であると考えている。

- (1) 試作数量が 5,000 本であり、通常生産量の数万本から数十万本における生産上の問題の確認、対応。
- (2) 鍛造試作時に確認したへこみ疵対策。
- (3) 6mm径ドリルねじを含む他サイズへの展開。

### 2-2 事業化展開

本プロジェクトの研究開発成果の事業化については神山鉄工所では以下の方針で進める考えである。

#### (1) 社内体制構築

- ・追加設備投資により作業時間 1/2 化に成功した 8 mm径ドリルねじの量産体制を構築する。
- ・画像検査装置による刃先管理法の精度を高め品質保証体制を構築する。

#### (2) 販売促進

- ・これまで作業時間の長さを理由として置き換えが進まなかった溶接からドリルねじへの工法変更を本プロジェクトの成果を紹介してユーザーに促す。
- ・従来品との差別化のため作業性が高い高付加価値品ブランドを立ち上げ市場投入する。