

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「割裂及び加締加工技術による順送加工プレス一体化の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人日立地区産業支援センター

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 第1章 研究開発の概要 | 1 |
| 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 | 1 |
| 1-1-1 研究開発の背景 | 1 |
| 1-1-2 研究目的 | 5 |
| 1-1-3 研究目標 | 5 |
| 1-2 研究体制 | 8 |
| 1-2-1 研究組織及び管理体制 | 8 |
| 1-3 成果概要 | 12 |
| 1-3-1 割裂加工技術の精度向上 | 12 |
| 1-3-2 異種材金属の加締方法と耐久・特性確立 | 13 |
| 1-3-3 同一金型内での量産技術の開発 | 14 |
| 1-3-4 プロジェクトの管理・運営 | 15 |
| 1-4 当該研究開発の連絡窓口 | 15 |
| 第2章 本論 | 15 |
| 2-1 割裂加工技術の精度向上 | 15 |
| 2-1-1 材料押え構造の開発 | 15 |
| 2-1-2 割裂刃先の開発 | 16 |
| 2-1-3 加工条件の最適化 | 19 |
| 2-1-4 試作品の評価・検証 | 20 |
| 2-2 異種材金属の加締方法と耐久・特性確立 | 27 |
| 2-2-1 加締金型構造の開発 | 27 |
| 2-2-2 試作品の評価・検証 | 33 |
| 2-3 同一金型内での量産技術の開発 | 35 |
| 2-3-1 割裂加締試作順送金型による量産技術の確立 | 35 |
| 2-3-2 試作品の評価 | 36 |
| 第3章 今後の課題と事業化への取組み | 36 |
| 3-1 今後の課題 | 36 |
| 3-2 事業化への取組み | 36 |

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

(1) 川下製造事業者の抱える課題及び要請(ニーズ)

地球温暖化に対する国家を超えた取り組みや石油価格の高騰を背景に、自動車産業は電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)などの次世代自動車の開発が進んでいる。

(株)オリエント総合研究所の調査によれば(図1・1)2010年における次世代自動車の世界市場は前年比47.5%増の21.1万台となり、2013年には100万台を越え、2030年には280万台に達するものと予想されている。

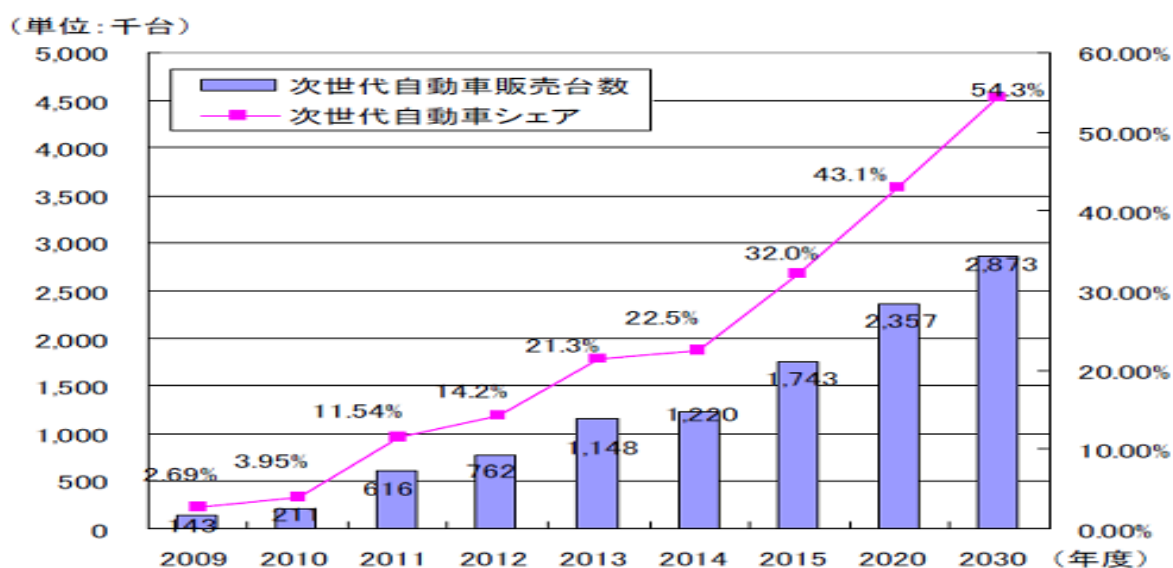


図1・1 次世代自動車の世界市場予測

電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)においては、その主要な駆動力源としてリチウムイオン電池等に蓄電されている電気エネルギーを使用する。

そのため、これまでの内燃機関を利用した自動車と比べて、電装系回路に流れる電流量は格段に多くなる。本研究開発の対象部品であるバスバーは、EVやHEVの電気接続に用いられる導体であり、電池とインバータの間やインバータとモータとの間の電気接続に用いられる。(図1.2参照)

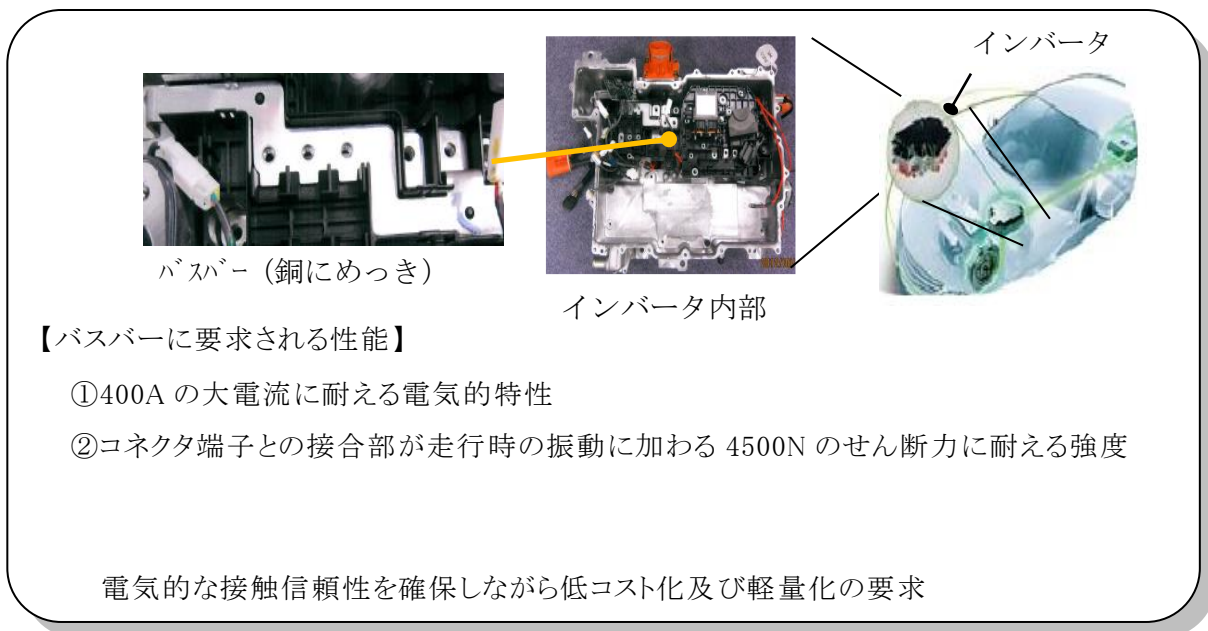


図1.2 大電流対応

バスバーには自動車の駆動のための400A の大電流が流れることから、放熱や高周波の電気抵抗を抑制するために、表面積の大きい板状のバスバーが用いられ材料には導電性にすぐれる銅材が使用されている。また、コネクタ端子との接合部は走行時の振動に加わる4500Nのせん断力に耐える強度も求められている。

しかしながら、銅材は非常に高価であり、重量も重いことから、自動車メーカーからは、バスバーの電気的な接触信頼性を確保しながら低コスト化及び軽量化に対する要求が強い。

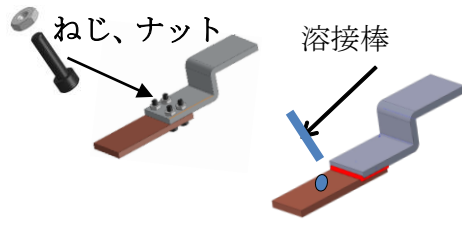
(2) 現在の顧客研究開発動向

自動車メーカーでは、部品ごとにグラム単位での軽量化を図ることが重要な課題となっている。その解決方法のひとつとして、表1.1に示すように銅単一材料の従来型バスバーの電気的な接触信頼性を確保しながら、低コスト化及び軽量化に向けた研究開発が行われている。

表1.1の内容のとおり、銅とアルミの異種材金属接合技術においては、工数が多く高コスト製品となっている。また、接続作業に熟練を要し、品質が安定しないといった問題があり、川下企業のニーズを満たす技術が確立されていない。

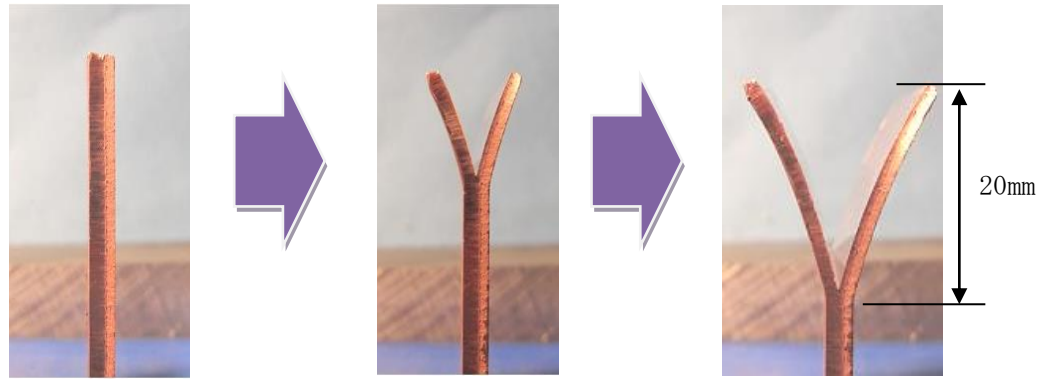
本提案は、これら川下企業のニーズ（日立オートモティブシステムズ（株））に応える当社独自の割裂加工技術及び加締技術の開発である。

表1.1 主な研究開発の動向

| | 内 容 |
|---------------------------------------|--|
| <p>バスバーの 開発 (アルミ 合金化)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・銅より導電性は劣るものの軽量且つ材料コストの安価なバスバー用アルミ合金の開発 ・アルミは銅に比べ比重は約 1/3 ・価格が約 1/3 ・アルミの電気伝導率は銅の 1/2 (課題) ・アルミ材の強度の確保 |
| <p>異種材金属 接合 技術開発</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・銅とアルミの両者の強みを取り入れるため、バスバーを銅とアルミの複合材料化する開発 a. ねじ締付け等による接合 (加締) ねじを活用し異種材金属同士を接合する技術 (課題) <ul style="list-style-type: none"> ・強度信頼性の確保 b. 溶接 (アーク溶接) 電気アークの熱を利用し、金属材料を局部的に熔融して接合する方法 (課題) <ul style="list-style-type: none"> ・接合強度の確保・接合のための一連のサイクルタイムの短縮、 ・作業環境が汚染される <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin: 0;"> ねじ、ナット 溶接棒 </p> </div> |

(3) 基礎研究

(株) 関プレスは、これまで培ってきたプレス加工技術を基に順送プレス機による割裂加工技術の基礎研究開発を行ってきた結果、板厚3mm の銅材について、深さ約20mm の割裂に成功した。(図1.3参照)



$t = 3 \text{ mm}$

図 1. 3 割裂加工技術

割裂の特徴は以下の 3 点である。

- ① 順送プレス内で一体成形できること
- ② 異種材金属接合の場合、接触面積が 2 倍になることで接合強度及び電気的特性も向上すること
- ③ 割れ裂かれた母材の芯と挿入接合される異種材金属の芯が同一（同芯）となること

本研究開発は、この①と②の特徴を全面的に活かすことで川下企業のニーズに応える提案である。なお、③の特徴は、自動車の構造材の接合として注目されているところである。上記特徴の①及び②の技術について、（株）関プレスは以下の基本特許を取得している。

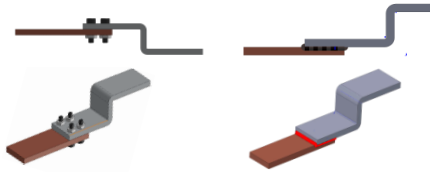
（特許 1）特許第 5165806 号「金属部品の製造方法及び該製造法によって得られる金属部品」（2012. 12. 28）、

（特許 2）特許第 5219178 号「金属板又は金属棒の端部分割方法及び該端部分割法によって製造される金属部品とその接合方法」（2013. 3. 15）

本研究開発は、異種材金属との電氣的接触面積の 2 倍化、接合強度の向上、接合時の板芯が同芯の利点を活かし、同一順送システム金型内で全工程を行うことにより、川下企業の要求である電氣的な接触信頼性を確保しつつ、低コスト化及び軽量化を実現する提案である。

図 1. 4 に従来技術と本研究開発の比較を示す。

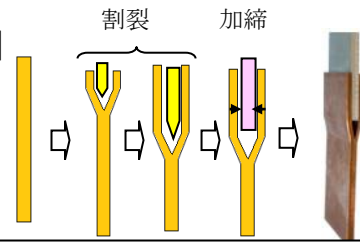
【従来異種材金属接合技術】



(従来技術の課題)

- ・作業工数が多い
 - ・接続作業がオフラインである
 - ・高コストである
 - ・自動化されないため品質が不安定である
- ⇒低コストで信頼性の有るプロセス実用

【本開発】



(本開発の特徴)

- ・一体成型で作業工数が激減 : 1/5
- ・加締加工で強度、接触信頼性確保
- ・原価低減 80% (ｼﾞ 締め比)
- ・軽量化 60%低減 (アルミ接合の実用化)
- ・リードタイム 1/10 (ｼﾞ 締め比)

図 1.4 従来技術と本研究開発

本研究開発の特徴は、一体成型で作業工数が1/5に激減、加締加工で強度、接触信頼性が確保できる事である。その結果、80%の原価低減と60%の軽量化、併せてリードタイム1/10、省電力化1/2を実現するものである。

1-1-2 研究目的

次世代自動車は低燃費化及び軽量化を低コストで実現することが課題となっている。本事業は、EVやHEVのインバータ内の重要部品であるバスバーの電氣的な接触信頼性を確保しながら低コスト化及び軽量化を図るべく、(株)関プレスの独自技術である割裂(わりさき)及び加締加工をコアに銅とアルミの異種材金属接合を順送システム金型内で実現し、従来と比較してコスト80%・軽量化60%低減を図り、自動車産業の発展に貢献することを目的とする。

1-1-3 研究目標

(1) 高度化目標

ア. 複雑3次元形状等を創成する成形技術及び一体成形技術の構築

エ. 複合加工、部品組み立て及び工程短縮等を可能とする技術の向上

地球温暖化対策や石油等の燃料価格が高騰する中、低燃費や環境負荷低減を図ることができる次世代自動車が急速に普及している。各自動車メーカーは市場においてシェア拡大を図るべき熾烈な競争を繰り広げており、自動車部品を製造している当社においても、自動車部品の機能向上やコスト低減が大きな課題となっている。

本研究開発は、EVやHEVなどの駆動源である電池とインバータ、インバータとモータ間の電気接続に用いられるバスバーの低コスト化及び軽量化を図るため、当社の独自技術である割裂及び加締技術をコアに、順送プレスライン上で異種材金属接合を実現し、複合材の一体成形技術を確立することで、工程短縮と高品質化を図る提案である。

具体的には、工程数は従来の1/5、リードタイムは1/10、省電力化は1/2を実現することで、80%の原価低減、また、異種材金属接合の技術確立により60%の軽量化を達成し、我が国の次世代自動車産業の競争力強化に貢献することを目標とする。

(2) 技術的目標値

本研究開発に注目した川下企業(日立オートモティブシステムズ(株))からは、板厚 0.8mm で板厚ばらつき精度 $0 \pm 0.03\text{mm}$ 以内の要望があり、本研究開発の技術的目標値はこれを満足させるものとする。

1) 割裂技術の精度向上

材料を順送プレス機で割裂加工を行う際、割裂部分の板厚の安定した精度確保を実現するため、まず最適な刃先の開発、次に素材の押え金型構造の開発、そして割裂加工条件の最適化及び試作品の評価解析を行う。

【定量目標】

割裂前の材料板厚 $t=0.8\text{mm}$ において、割裂後の分割部分の板厚スペックばらつき精度 $0 \pm 0.03\text{mm}$ 以内の確保 (図 1.5 参照)

【目標達成に向けた研究開発項目】

① 割裂刃先の開発

- ・プレス刃先形状、材質、表面処理の決定

② 押え金型構造の開発

- ・材料押え機構 最適押え圧力の条件決定

③ 加工条件の最適化

- ・プレススピード、プレス加工油、プレス条件決定

④ 試作品の評価及び検証

- ・割裂のクラック、材料組織の評価・検証

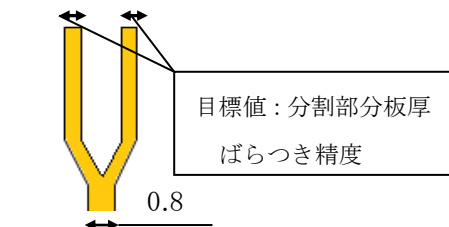


図 1.5 割裂目標

2) 異種材金属の加締方法と耐久・特性確立

図 1. 6 に示す割裂加工済み銅部品とアルミ板材の加締による耐久・特性条件を確立するために、その金型構造、プレス加工条件及び加締め後の材料の評価解析を行う。

【定量目標】

自動車部品メーカーでは、以下の性能を満たす部品が求められている。

- ① 加締部分の耐久性の確保
 - ・振動試験のクリア：100m/s²、48h
 - ・熱サイクルのクリア：-40℃～105℃、1000 サイクル
- ② 加締部分の特性確立
 - ・400A/14V 通電時 接触部温度上昇幅 50℃以下
 - ・引張強度 母材破壊の50%以上（100N/mm²以上）

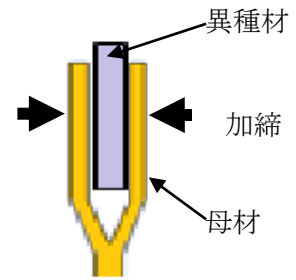


図1.6 異種材金属加締め

【目標達成に向けた研究開発項目】

- ① 加締金型構造の開発
 - ・材料加締機構 電気的特性及び強度を兼ね備えた加締方法の確立
現在具体的加締方法として、ロール加締め、増肉加締め、ダブルクリンチ加締め等を検討している。
- ② 加工条件の最適化
 - ・プレススピード、プレス加工油、プレス条件決定
- ③ 試作品の評価及び検証
 - ・加工部のクラック、材料組織の評価・検証

3) 同一金型内での量産化技術の確立

金型内において割裂から異種材金属供給及び加締まで一貫生産が可能な順送システム金型を開発する。

【定量目標】

- ・金型寿命 10万ショット

【目標達成に向けた研究開発項目】

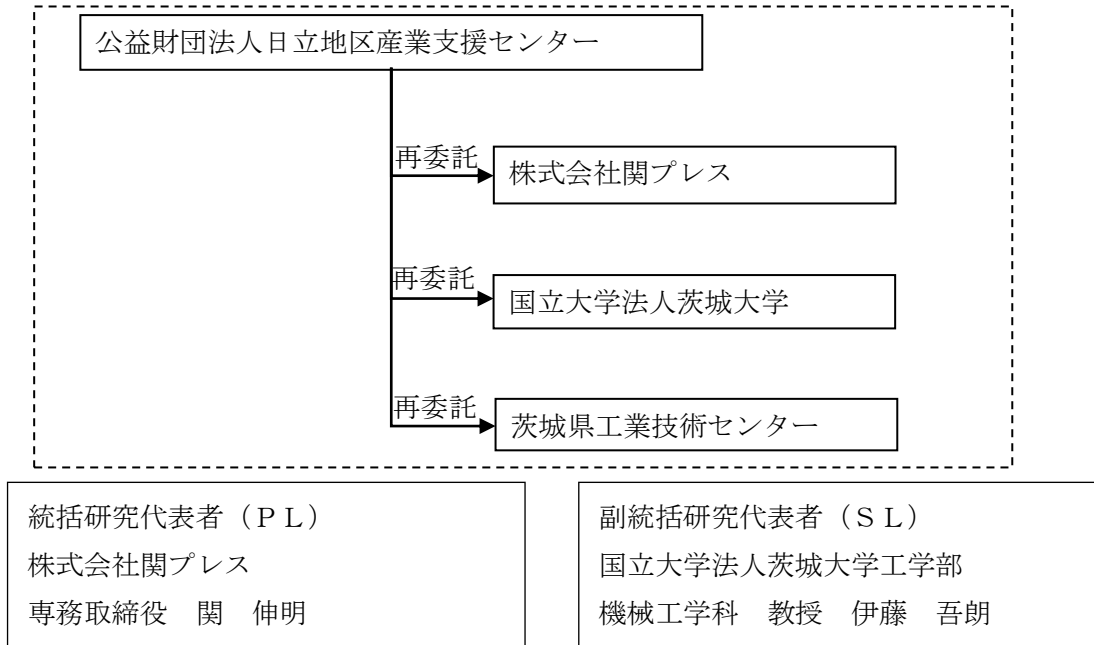
- ① 順送金型の開発
 - ・金型部品の材質、構造、表面処理の決定
 - ・順送システム金型異種材金属供給構造の開発及び量産性確認
- ② 量産試作の評価
 - 川下企業（日立オートモティブシステムズ（株））と連携し、以下の評価試験を実施する。
 - ・割裂、加締部のクラック、材料組織評価・検証
 - ・割裂、加締部強度：母材破壊の50%以上（100N/mm²以上）
 - ・振動耐久試験：100 m/s²にて X/Y/Z 方向に各 48h 加振
 - ・電気的特性：400A 1分間通電にて温度上昇幅 50℃以下
 - ・インバータ本体との組込耐久試験

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

(1) 研究組織及び管理体制

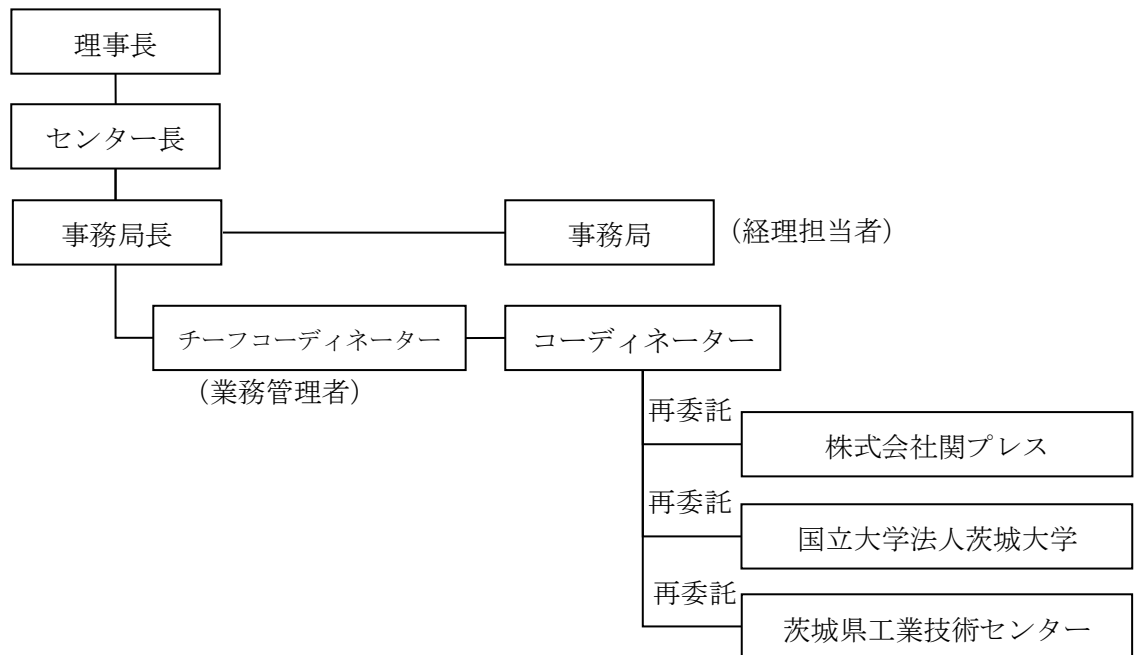
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

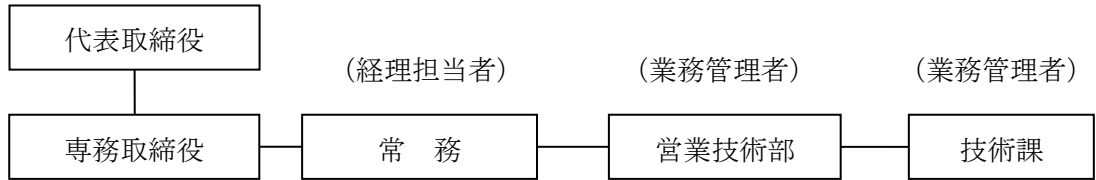
① 事業管理機関

[公益財団法人日立地区産業支援センター]

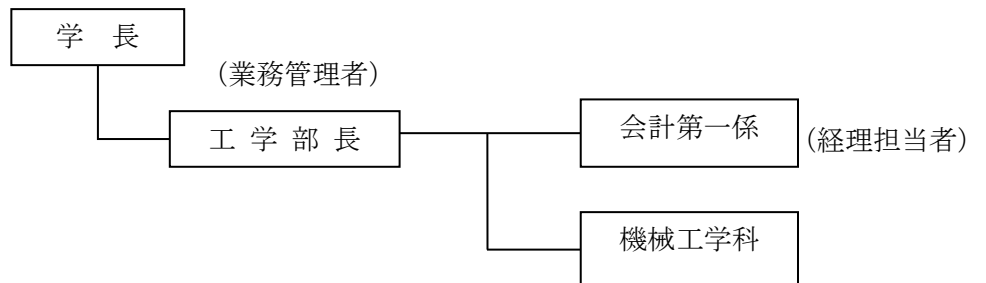


② 再委託先

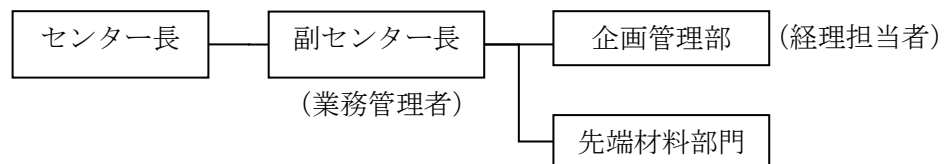
[株式会社関プレス]



[国立大学法人茨城大学]



[茨城県工業技術センター]



(3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人日立地区産業支援センター

① 管理員

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|-------------|--------------|
| 田中 正浩 | チーフコーディネーター | プロジェクトの管理・運営 |
| 藤原 健一 | コーディネーター | プロジェクトの管理・運営 |

【再委託先】

(研究員)

株式会社関プレス

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--------------|----------------------|
| 関 伸明 | 専務取締役 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 石 祐司 | 営業技術部 部長 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 渡邊 和博 | 営業技術部 開発課 課長 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 三浦 秀恒 | 営業技術部 開発課 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |

国立大学法人茨城大学

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|-------|--------------|----------------------|
| 伊藤 吾朗 | 工学部 機械工学科 教授 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |

茨城県工業技術センター

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容 (番号) |
|--------|--------------|----------------------|
| 齋藤 和哉 | 先端材料部門 部門長 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 小松崎 和久 | 先端材料部門 主任研究員 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 行武 栄太郎 | 先端材料部門 主任研究員 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |
| 早乙女 秀丸 | 先端材料部門 主任 | 1-1-3 (2)-1), 2), 3) |

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人日立地区産業支援センター

| | | |
|---------|-------------|-------|
| (経理担当者) | 係長 | 皆川 和洋 |
| (業務管理者) | チーフコーディネーター | 田中 正浩 |

(再委託先)

株式会社関プレス

| | | |
|---------|--------------|-------|
| (経理担当者) | 常務 | 杉田 政道 |
| (業務管理者) | 営業技術部部長 | 石 祐司 |
| | 営業技術部 開発課 課長 | 渡邊 和博 |

国立大学法人茨城大学

| | | |
|---------|------------|------|
| (経理担当者) | 工学部 会計第一係長 | 軽部 昇 |
| (業務管理者) | 工学部長 | 馬場 充 |

茨城県工業技術センター

(経理担当者) 企画管理部 係長

横須賀 久美子

(業務管理者) 副センター長

小島 均

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

| 氏名 | 所属・役職 | 備考 |
|--------|-----------------------------------|--------|
| 高島 浩明 | 株式会社テクノアソシエ 第二営業部グループ長 | アドバイザー |
| 中嶋 賢市郎 | 日立オートモティブシステムズ株式会社 インバータ設計部 技師 | アドバイザー |
| 鈴木 徹也 | 国立大学法人茨城大学 工学部 マテリアル工学科 教授 | アドバイザー |
| 酒井 英司 | 株式会社NCネットワーク 加工事業部 担当部長 | アドバイザー |
| 小沼 祐之 | 株式会社常陽銀行 参事役 | アドバイザー |

1-3 成果概要

本研究における3年間の研究開発成果を表1に示す。

表1 3年間の研究開発成果

| NO. | 研究目標 | 達成目標 | 平成25年度 | 平成26年度 | 平成27年度 |
|-----|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 割裂技術の精度向上 | ①金型構造の開発 ②割裂き刃先の開発 | ①試作金型による最適構造の検討 ②割裂刃先及び加工条件の確立 | ①②金型寿命10万ショットを満足する金型構造及び表面処理技術の確立 | 量産に適した金型寿命10万ショットを満足する金型構造及び割裂刃の検証 |
| 2 | 異種材金属の加締め方法の開発 | ①加締金型構造の開発 ②試作品の評価・検証 | ①試作金型による最適構造の検討 ②SEM等による試作品の評価 | ①接合面の活性化技術の検討 ②SEM等による試作品の評価 | ①異種材金属の加締め技術の確立 ②試作サンプルによる耐久特性の評価 |
| 3 | 同一金型内での量産技術の開発 | ①割裂加締順送金型による量産技術の確立 ②試作品の評価 | 1.2.の結果により次年度より研究に着手する | ①割裂加締順送試作金型の開発 ②次年度より着手する | ①外周拘束摩擦加熱加締め方法の確立 ②試作サンプルによる耐久特性の評価 |

1-3-1 割裂技術の精度向上

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

(1) 計画内容

材料を順送プレス機で割裂加工を行うため、金型構造の開発、割裂刃先及び、各種材料に対する割裂加工条件の最適化を確立する。また、試作品による評価解析を実施し、金型寿命10万ショットを満足する事を確認する。

平成25年度に、板厚0.8mmサンプルで分割精度±0.03mmを満足する順送プレス金型構造及び割裂刃先を開発し、各種材料に対する割裂加工条件を確立する。

平成26年度には、金型寿命10万ショットを満足する割裂刃先を検討する。表面処理を試作検討することにより、最適な表面処理技術を確立する。

平成27年度は、選定した最適刃の耐久性をプレスでの寿命試験を実施し、量産に適した割裂加工技術を検証する。

(2) 成果概要

平成25年度に分割加工技術の精度向上及び量産を見据えた順送金型割裂部を検討し、順送プレス金型内で割裂から2部材接合までを一貫して行うため、割裂刃を水平に動かす機構とした。

更に、最適刃先の開発、割裂加工条件の最適化、試作品による評価及び検証を行い以下の結論を得た。

①最適刃先材質の選定

プレスで10万ショットの寿命を満足する為の刃先材質を開発するため、(株)関プレスの長年培った技術をもとに刃先形状、強度及び靱性に加え表面処理性、コストを総合的に比較検討し粉末ハイス鋼を選定した。

②割裂加工条件の最適化

刃先形状を変えて分割精度を調査した結果、目標値±0.03mmに対し目標の±0.02mmを満足した。また、割裂サンプルの終端部はR形状となりクラックの発生が無い事を確認した。

③試作品による評価及び検証

割裂およびその後の二次加工による材料の金属組織や機械的特性の変化状況を、硬さ試験機により調査した。割裂領域のビッカース硬さ $H_{V0.03}$ は、素材の約1.3倍硬化した。この硬さの増大は材料として1/4HからH材程度への変化であり、引続き行う2次加工等に影響は無いことを確認した。割裂終端部近傍のダイナミック硬さ $D_{h0.03}$ は、先端が歪み硬化の影響で素材の約1.3倍硬化しているが、徐々に素材硬度まで低下している。割裂の先端角度やステップが増加するに伴い歪み硬化の影響も増大している。

割裂刃表面粗さ、クリアランスの向上、表面処理及び、加工油の選定を行い、板厚0.8mmの分割精度目標±0.03mmに対し±0.02mmを達成した。

耐久確認を実施した。SEM観察した結果、表面にすり傷はあるが表面処理の劣化は見られず良好であることを確認した。

1-3-2 異種材金属の加締方法と耐久・特性確立

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

(1) 計画内容

本開発対象部品である大電流バスバーは、電気自動車(EV)やハイブリッド車(HEV)のインバータ等の電氣的接続に使用されるコア部品であり、金属接合部分が走行時の振動や低温から高温までの過酷な温度変化に対しての十分な耐久性が要求される。このため、電氣的特性及び耐久強度を兼ね備えた加締め力を満足する加締金型構造の開発を行う。

平成25年度に、川下企業が要求する通電時の発熱防止、振動耐久、冷熱サイクル及び引張強度等の性能を満足する加締め方法を選定する。選定した方式で試作金型を製作し基本的特性を評価・検証する。

平成26年度には、試作品の評価・検証結果に基づき量産性を見据えた最適なプレス加工条件となるプレス条件、プレススピードや加工油等を検討する。

平成27年度は、試作サンプルの耐久特性等を評価・検証する。

(2) 成果概要

1) 加締金型構造の開発

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

平成 25 年度に製品特性、開発コスト、開発期間をパラメータに比較検討し、押出し加締め法と外周拘束加締め法の 2 パターンを選定した。ここで、押出し加締め法は、母材側に割裂加工を施し挿入後プレス荷重をかけ加締める工法である。一方、外周拘束加締め法は母材側に割裂加工を施し、挿入部材を挟み込み拘束しプレス荷重をかけ加締める工法である。試作品の評価・検討については、押出し加締め法で製作した試作品にて、評価観察用サンプルを作成し SEM 観察を行った。これらを基に引続き最適な加工条件を検討する。

平成 26 年度には、押出し加締め法で製作したサンプルの評価・検証を継続し、目標の母材破壊強度は満足するが、通電性で接触面積が確保できず電氣的接合には不向きと判断した。

外周拘束摩擦加締め法は、接触面積の確保が押出し加締め法より拡大するため良好であると判断した。

更に、外周拘束摩擦加締金型の加締め時に部材を加熱する事で接合性を高める外周拘束摩擦加熱加締金型を開発し、目標仕様を満足させた。本金型を用い試作サンプルにて摩擦パラメータ、加熱温度等の要素技術を確立した。また、試作サンプルでの冷熱試験及び振動試験を実施し目標仕様を満足する見通しを得た。

1-3-3 同一金型内での量産技術の開発

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

(1) 計画内容

試作開発した金型での一貫作業を行うための要素技術（プレススピードや加圧力、プレス加工油や加工材料の種類及び硬度など）について、サーボプレス機を用いて、シミュレーションや実験を行い量産技術の確立を目指す。

(2) 成果概要

ブランク加工、割裂加工、加締加工を一貫して行う割裂加締試作順送金型に加熱機構を付加した外周拘束摩擦加熱加締金型を用い、摩擦パラメータ、加熱条件、本加締条件等の要素技術を検討し最適な要素技術を確立した。事業化に際しては顧客毎に要求仕様が異なるため、今回開発した要素技術を基に顧客毎に要求仕様を織込む事で短期間での量産立上げが可能と考える。

1-3-4 プロジェクトの管理・運営

事業管理機関公益財団法人日立地区産業支援センターにおいて、本プロジェクトの管理を行い、プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、各年度の成果報告書等を作成した。

再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行った。また、計画的な事業を推進するため、研究開発推進委員会を委託契約期間内に年度内3回開催した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

・公益財団法人日立地区産業支援センター

〒316-0032 茨城県日立市西成沢町二丁目20番1号

TEL：0294-25-6121 FAX：0294-25-6125 E-mail：info@hits.or.jp

連絡担当者：藤原 健一（コーディネーター）

第2章 本論

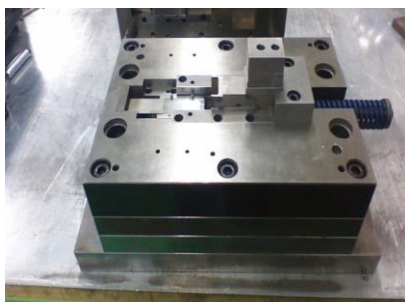
2-1 割裂加工技術の精度向上

2-1-1 材料押え構造の開発

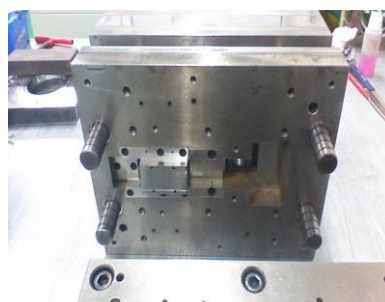
材料の座屈を防止しつつ、素材板厚のばらつきを補正し中心合わせを行うため材料押え構造を確立した。図2.1.1に開発した金型の概要を示す。



(a) 順送試作金型全体



(b) 順送試作金型（下型）



(c) 順送試作金型（上型）

図2.1.1 順送試作金型概要

2-1-2 割裂刃先の開発

(1) 割裂刃先の選定

割裂刃先を選定するにあたり、刃先の形状・材質・表面処理の組合せにより割裂精度（目標 $\pm 0.03\text{mm}$ ）、割裂面のクラック、刃先表面状態を満足する最適な組合せを決定する。

1) 刃先形状

株式会社関プレスの特許技術をもとに刃先の形状を検討する。図2.1.2に刃先形状を表2.1.1に確認結果を示す。ここで、日立ツール製増速スピンドル（型式HSK-A63-RBX5）および精密成型研削盤（okamoto型式PF6500II）を使用し刃先形状を製作した。増速スピンドルは株式会社関プレスが保有するマシニングセンタに装着し使用するため、回転速度の切り替えなどに改造を施した。トライアル加工品は、（株）キーエンスの走査型電子顕微鏡（型式VE-9800）（以下SEMという。）により割裂き部の材料組織変化を評価し、問題点の解析と供試品へのフィードバックを行い刃先形状を検討した。

確認結果より、刃先形状4が最も良い結果となった。目標分割精度 $\pm 0.03\text{m}$ を達成した。測定方法、測定結果および、考察等については2-1-4項で述べる。



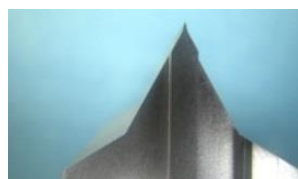
刃先形状 1



刃先形状 2



刃先形状 3



刃先形状 4

図2.1.2 刃先形状

表2.1.1 刃先形状確認結果

◎:最適 ○:適 △:不適 ×:不可




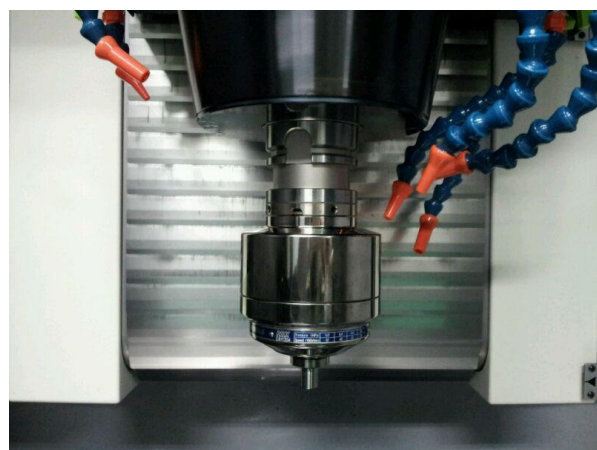
| | 分割精度 | 割裂面 クラック | 刃先表面 | 製品形状 (後加工性) | 残留応力 |
|-------|------|-------------|------|---|-------------------|
| 刃先形状1 | × | ◎ | ○ | | 福島県ハイテクプラザ で測定 |
| 刃先形状2 | △ | ◎ | ○ | ◎  | 福島県ハイテクプラザ で測定 |
| 刃先形状3 | ○ | ◎ | ○ | ○  | 福島県ハイテクプラザ で測定 |
| 刃先形状4 | ◎ | ◎ | ○ | ○  | 福島県ハイテクプラザ で測定 |

図 2.1.3 に増速スピンドル、図 2.1.4 に精密成型研削盤、図 2.1.5 に走査型電子顕微鏡を示す。



(a) 増速スピンドル単体



(b) 増速スピンドル装着状態

図 2.1.3 増速スピンドル



(a) 精密成型研削盤



(b) 精密成型研削盤作業状況

図 2.1.4 精密成型研削盤



図 2.1.5 走査型電子顕微鏡

2) 刃先材質の決定

刃先材質も割裂加工に大きく影響するため、プレスで10万ショットの寿命を満足するため粉末ハイス鋼を選定した。表 2.1.2 に代表的な刃先材料選定結果を示す。

表 2.1.2 刃先材料選定 ◎：最適 ○：適 △：不適 ×：不可

| 刃先材質 | 強度 | 靱性 | コーティング性 | コスト | 加工性 |
|--------|----|----|---------|-----|-----|
| 超鋼 | ◎ | △ | ○ | × | × |
| ハイス鋼 | △ | ○ | ○ | ○ | △ |
| 粉末ハイス鋼 | ○ | ◎ | ○ | △ | △ |

3) 刃先表面

刃先表面に関しては、精密成型研削盤による鏡面研磨および、表面処理を検討する。当初は鏡面研磨品で試作検討し試作サンプルの仕上がり状態と割裂刃の寿命を調査研究する。

2-1-3 加工条件の最適化

製作した試作金型をプレスに装着した割裂研究状況を図 2.1.6 に示す。

割裂荷重測定結果を図 2.1.7 に示す。加工速度、加圧力、加工油を変化・組合せて最適条件を検討、評価した。



図 2.1.6 割裂研究状況

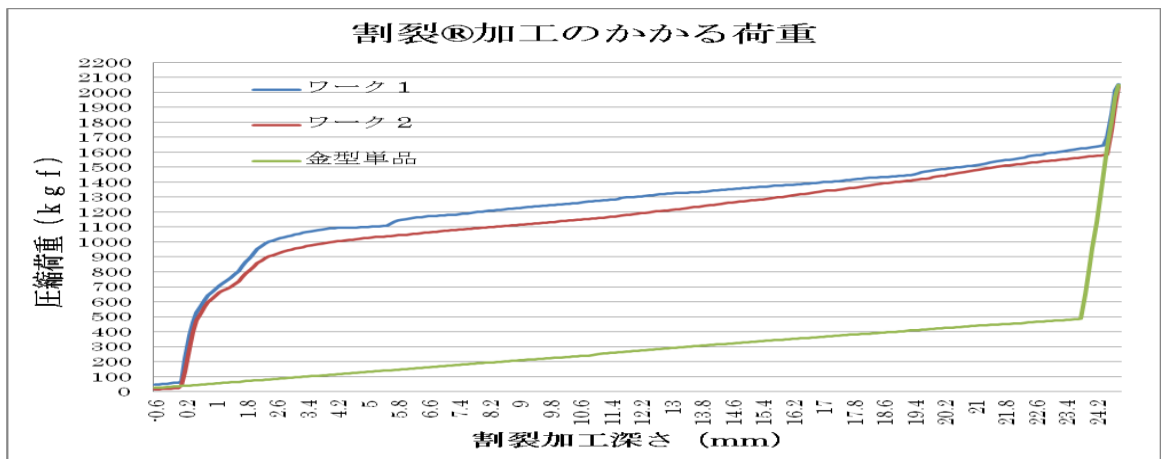


図 2.1.7 割裂荷重測定結果

2-1-4 試作品の評価検証

1) 分割精度

最初に 4 種類の刃先形状にてこれまでの経験から選定した加工速度、加圧力、加工油有無の条件で各 30 個作成した。測定結果を図 2.1.8 に示す。

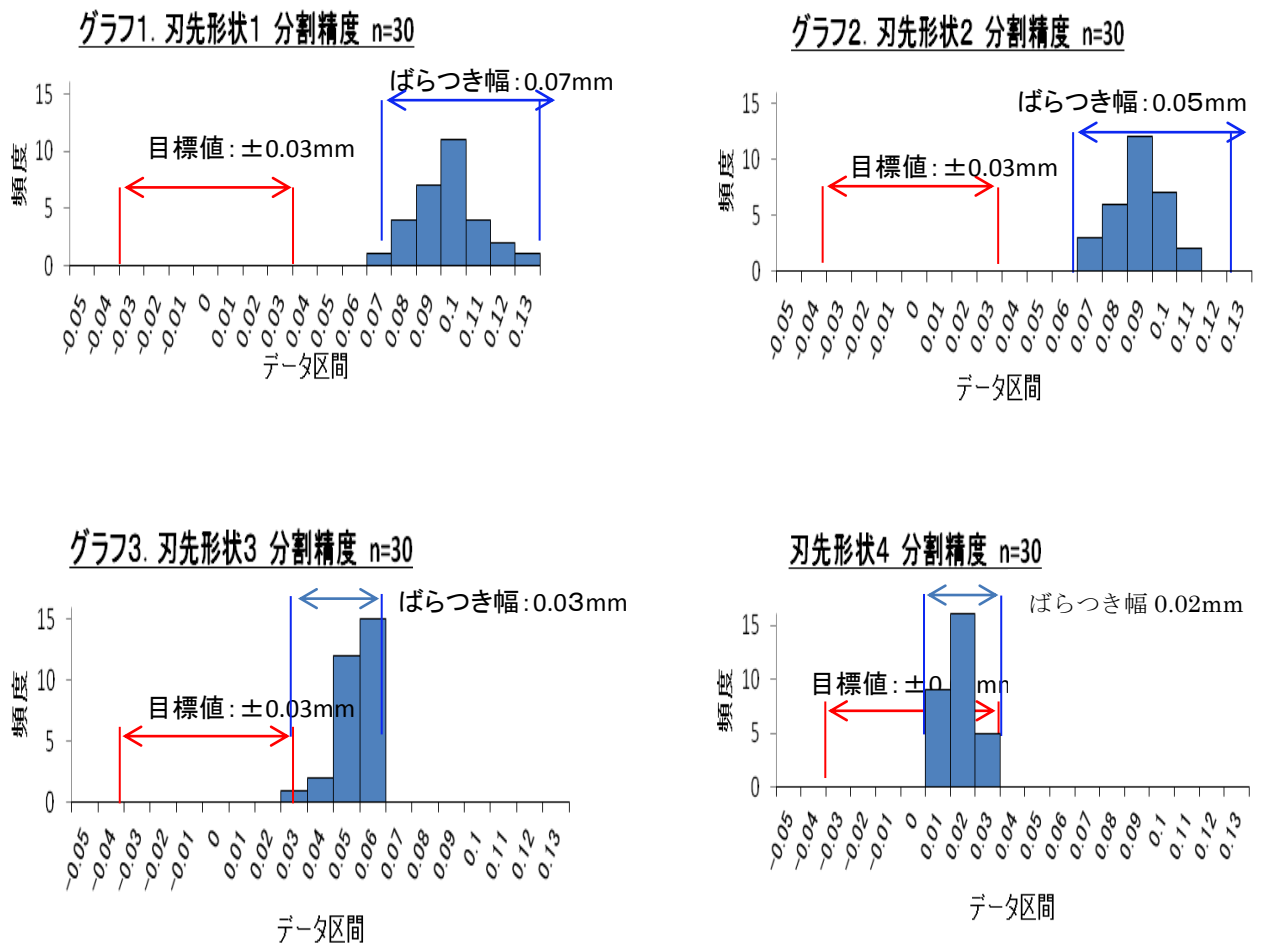


図 2.1.8 分割精度測定結果

刃先形状1は、 $\pm 0.13\text{mm}$ 、刃先形状2は、 $\pm 0.11\text{mm}$ 、刃先形状3は、 $\pm 0.06\text{mm}$ 、刃先形状4は、 $\pm 0.03\text{mm}$ となり、刃を押えるもとの部分が強い(厚い)ほど精度も良く、ばらつきが少ないことが解った。しかし、中心ずれが発生しており、この原因は金型のクリアランスにあると考え表2.1.3に示す対策を実施し金型精度の向上を図った。サンプルは測定顕微鏡(ミツトヨ製 型式MF-A4020C)にて測定した。

表 2.1.3 課題と対策

| 前回の課題 | 対 策 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・材料の座屈 ・分割のばらつき | <ul style="list-style-type: none"> ・割裂刃の面粗さ向上 (エアロラップ) ・摩擦係数の低い表面処理 ・加工油の選定 ・材料押えクリアランスの見直し ・材料と刃先クリアランス見直し |

この結果、図 2.1.9 に示すように目標精度を過達する $\pm 0.02\text{mm}$ を達成した。

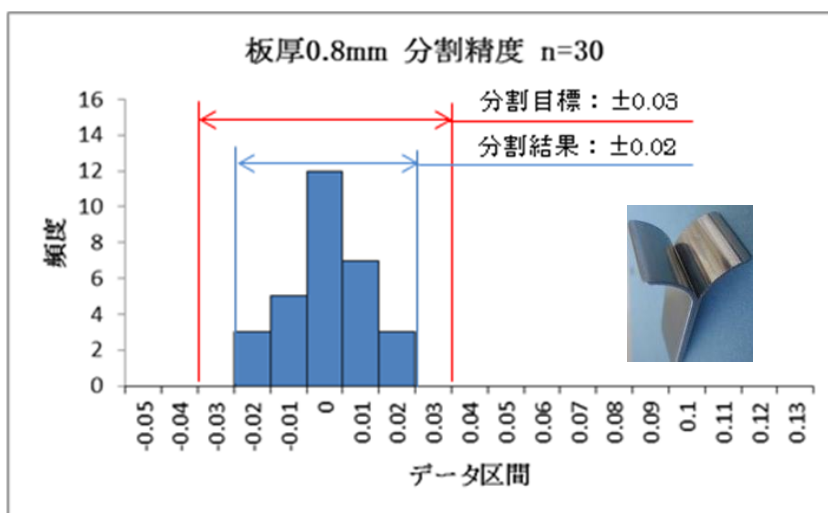
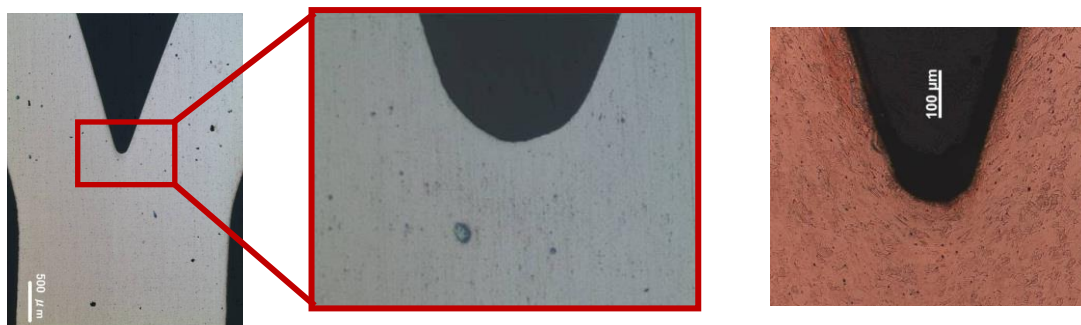


図 2.1.9 サンプル写真と分割精度

2) 割裂面クラック発生状況

割裂面終端部へのクラック発生有無を確認するためサンプルの対象部分を切断、樹脂埋め

後研磨してSEMにて観察した。図2.1.10に割裂先端部の形状、4300倍の観察写真を示す。先端部はR形状でクラックの発生は見られず良好である。エッチング後の観察結果では、割裂部に組織の流動が見える。ここで成分分析をするためSEMにオックスフォード・インストルメンツ社のエネルギー分散型X線マイクロアナライザ(以下XMAと記す。)型式INC A-E250XTKを使用した。



(a) SEM観察写真 (b) SEM観察拡大写真 (c) エッチング後SEM観察写真

図2.1.10 割裂先端部の形状SEM写真

断面観察のサンプル作製に用いた設備を図2.1.11～図2.1.13に示す。



(a) 切断機外観



(b) 切断機作業状況

図2.1.11 切断機外観



(a) 樹脂埋め機と研磨機



(b) 研磨作業状況

図2.1.12 樹脂埋め機と研磨機



図2.1.13 XMA装着状況

3) 刃先表面

表2.1.4にSEMで観察した各刃先の表面を示す。刃先形状3の端部に摩耗が観られるものの表面状態に差異は見られず問題はない。

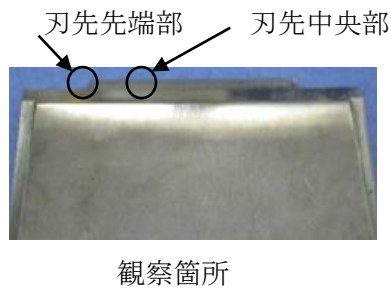


表2.1.4刃先表面 (n=12000ショット) (×200)

| | 刃先形状1 使用前 | 刃先形状1 使用后 | 刃先形状2 使用后 | 刃先形状3 使用后 | 刃先形状4 使用后 |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 刃先 端部 | | | | | |
| 刃先 中央 | | | | | |

各刃先は、材質が粉末ハイス鋼で、表面処理無しの状態にて12000ショットしたものである。表面状態は良好で問題無い。目標の10万ショットまで継続する。また、長寿命化のための表面処理技術についても並行して検討する。

4) 加工硬化及び、残留応力

4)-1 加工硬化

割裂部の加工硬化は、二次加工に影響が出るため、茨城大学の協力を得、明石製ビッカース硬度試験機型式AVK-C1にて測定した。試験荷重0.3kg、保持時間10S、測定箇所はa)外表面から0.5mm、b)中央部、c)割裂内表面から0.5mm部とした。今回測定に用いたサンプルは、銅材1/4H (w10×l45×t3mm)、割裂ステップ1, 4, 6mmである。図2.1.14に割裂ステップ4mmの加工硬化状況を示す。

実験結果より割裂領域内でのビッカース硬度は90～95と加工硬化は、割裂面全体に、素材の約1.3倍になっているが熱処理などの追加工程は不要である。また、割裂最深部から1mmの位置の板厚方向のダイナミック硬度測定結果は図2.1.15に示すように素材硬度はほぼ一定である。

ここでダイナミック硬度は、島津製ダイナミック硬度試験機型式DUH-W201 を用いて測定した。超微小領域の機械的性質（硬度等）を評価できるダイナミック硬度Dhは、圧子の押し込み荷重と押し込み深さの連続データから算出される硬度で、圧痕の観察を行う必要がなく、弾性回復も含めた機械的性質を評価することができる。

$$Dh = \alpha L / h^2$$

ここで、 α は三角錐圧子の定数 ($\alpha = 3.8584$)、Lは試験荷重、hは押し込み深さである。

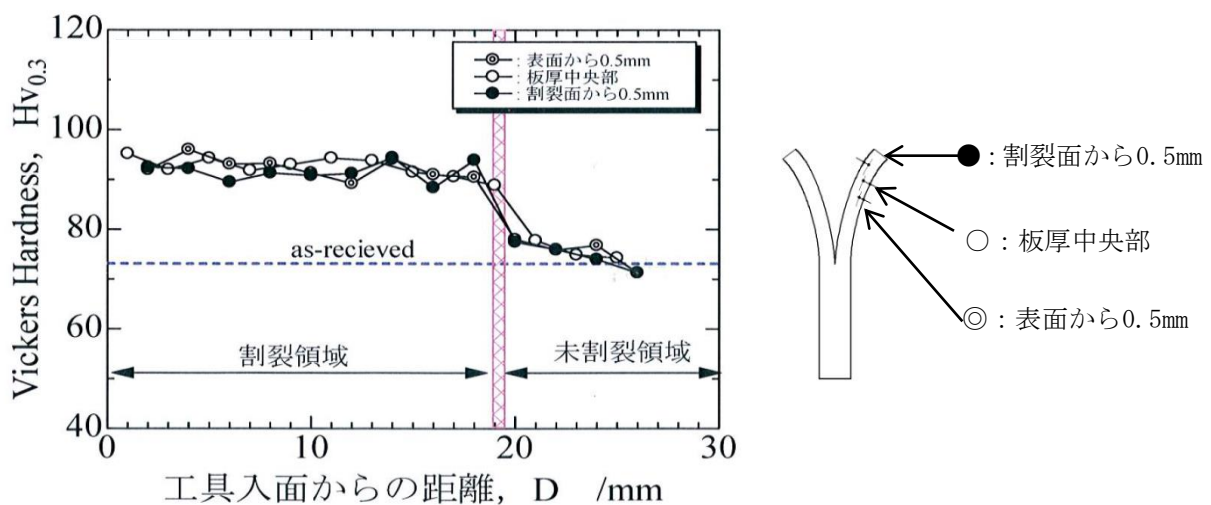
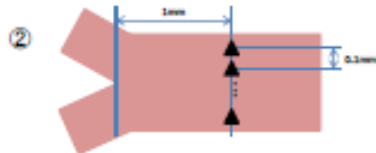
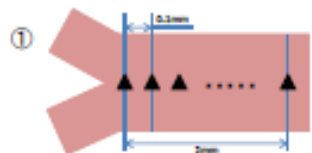
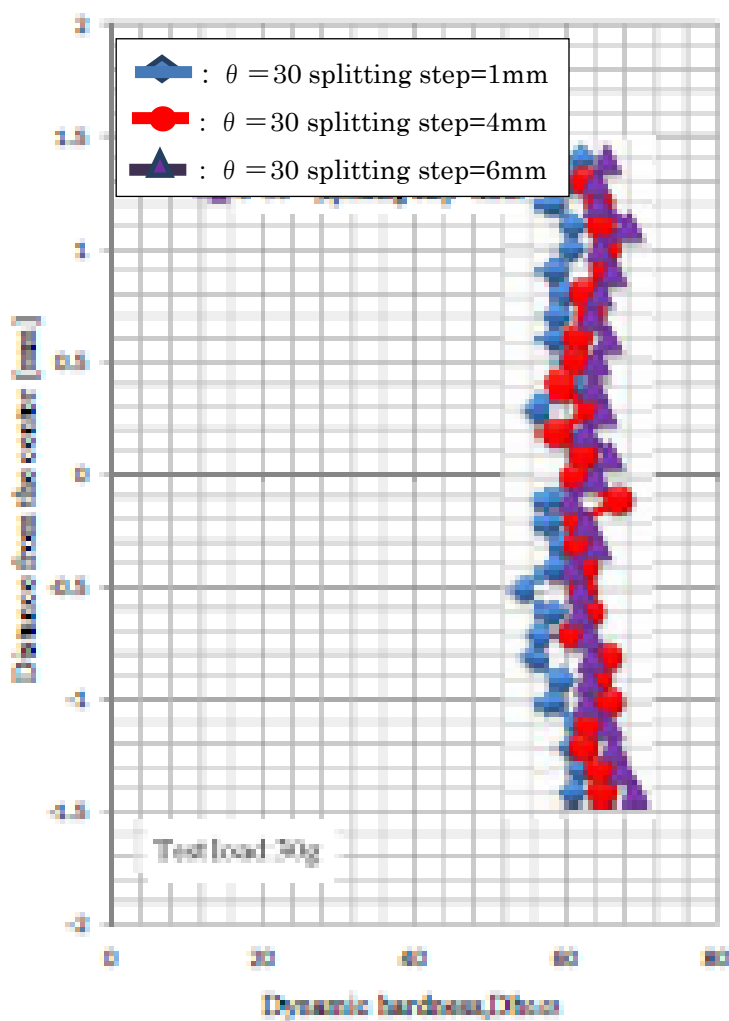


図 2.1.14 ビッカース硬度測定結果



(a) 測定部

(b) ダイナミック硬さ試験機



(c) ダイナミック硬度測定結果

図 2.1.15 ダイナミック硬度測定結果

4)-2 残留応力

割裂後の二次加工に影響が出る残留応力は、公益財団法人福島県ハイテクプラザにて、X線による残留応力の測定を行った。図 2.1.16 に測定結果を示す。

測定結果より、割裂内面には、ほぼ残留応力が観られず、割裂外面に引張の残留応力があることが解った。この解析結果をもとに、今後の二次加工による製品に与える影響を考慮していく。

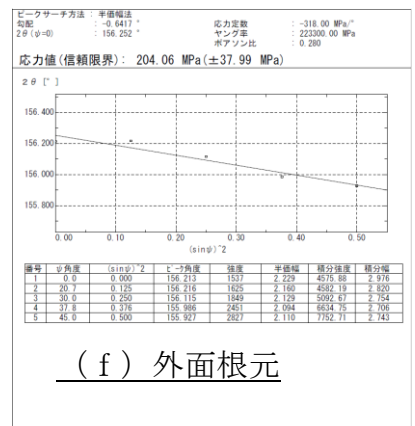
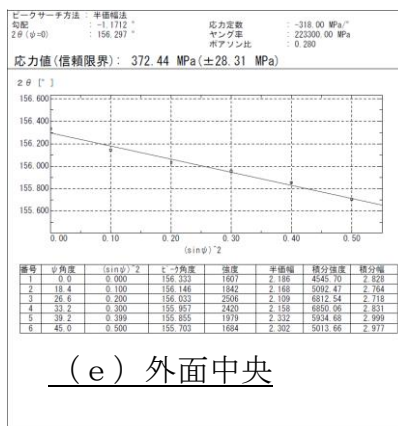
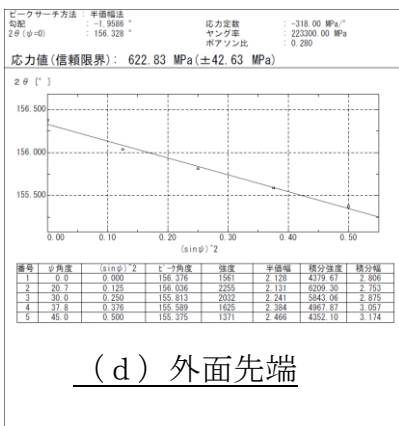
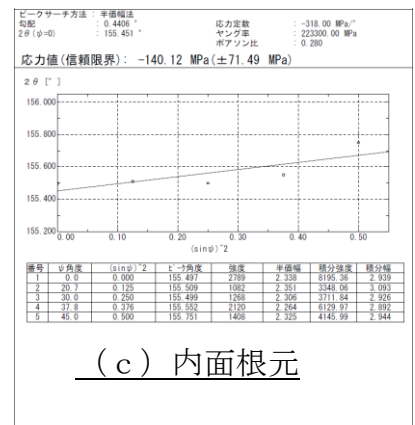
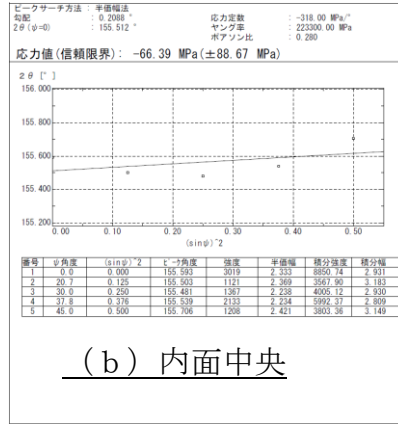
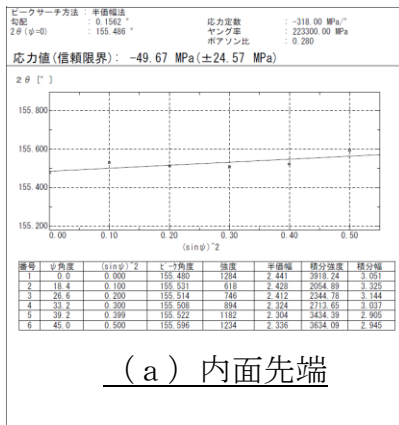
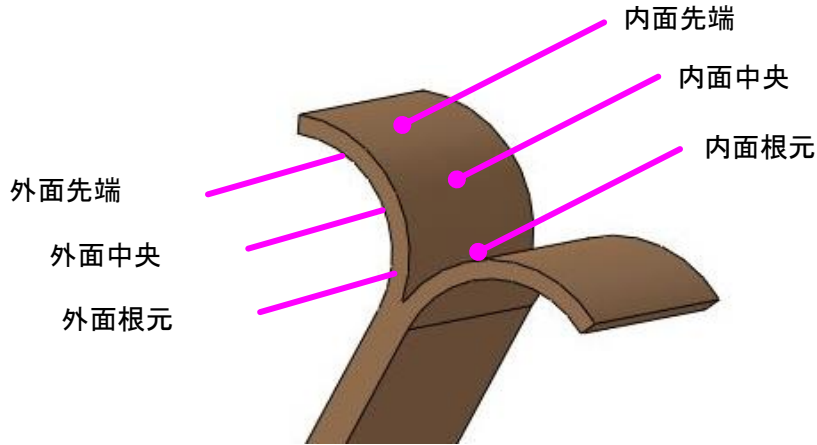


図 2.1.16 残留応力測定結果

2-2 異種材金属の加締方法と耐久・特性確立

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

本開発対象部品である大電流バスバーは、EV や HEV のインバータ等の電氣的接続に使用されるコア部品であることから、異種材金属接合部分が自動車走行時の振動や低温から高温までの過酷な温度条件においても十分な耐久性を有する必要がある。川下企業の品質要求は以下の2点であり、これを満足する加締め技術を確立するため研究開発を行った。

異種材金属加締の目標 (ユーザー要求事項)

①加締部分の耐久性の確保

- ・振動試験のクリア：100m/s²、48h
- ・熱サイクルのクリア：-40℃～105℃、1000 サイクル

②加締部分の特性確立

- ・400A/14V 通電時 接触部温度上昇幅 50℃以下
- ・引張強度 母材破壊の50%以上 (100N/mm² 以上)

2-2-1 加締金型構造の開発 (実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学)

通電時の発熱防止、振動耐久、冷熱サイクル及び引張強度等川下企業が要求する性能を満足する加締め方法を確立する。異種材金属の加締めを行うためこれまでの実績から得た9種類の加締め方法に対し顧客要求に技術性・経済性を加えて総合的に比較検討し2種を選定し研究開発を行った。

(1) 押出加締め方法

本方式は、挿入材側に凸形状を形成し、母材側に穴加工を施し、お互いをプレスにて加圧し加締める方法で図 2.2.1 に概略を示す。母材側に穴加工を施す事により引抜き強度および、加締強度が増すと考える。

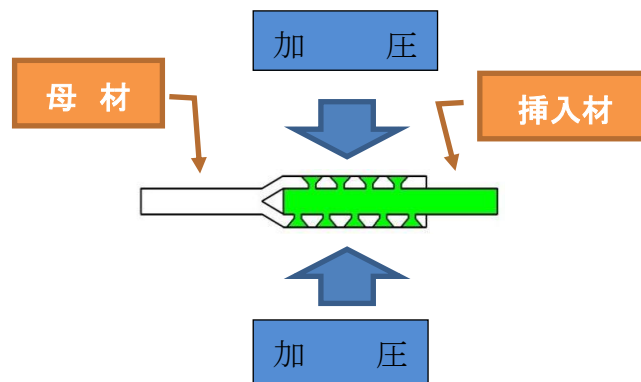


図 2.2.1 押出加締概略図

作成したサンプルをSEMを用いて観察した。観察結果を図2.2.2に示す。母材と挿入材の界面には隙間が見れる。これは二部材を同時に加圧したために生じたものとする。引張強度も低く不適と考える。

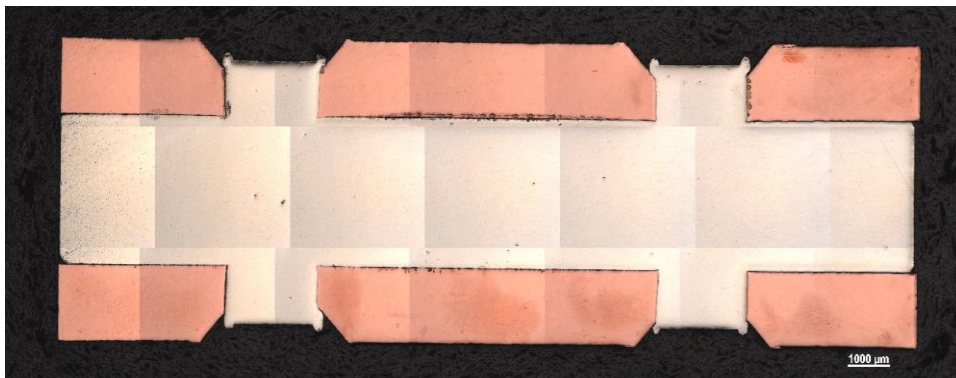


図 2.2.2 押出加締めサンプル

(2) 外周拘束加締め方法

母材側を割裂後絞り加工で箱状に成型し、ここに挿入材を挿入して加締める方法。機構が簡単で引張強度を確保する工夫が必要となる。図2.2.3に今回作成した母材側の形状試作サンプルを示す。図2.2.4に試作金型の写真を示す。



図2.2.3 外周拘束加締め構想サンプル



図2.2.4 試作用加締め金型

外周拘束摩擦加締め方法は、割裂加工・成型加工を施したサンプルに接合する板を挿入し、プレスで一定の圧力を掛けながら挿入した板を摩擦による接合面を生成した状態で加締め加圧を加え接合を行うものである。本方式では、接合面生成時に母材破壊及び、引張強度不足の不具合が生じた。この対策として、以下の改造を加えた改良型外周拘束摩擦加締め金型を開発した。

金型改良部は、①AC サーボモータ容量アップ

②減速機を増速機に変更しトルクアップを図った。

更に、接合面を得るための圧力と加締めを行うための圧力が異なるため、アイダエンジニアリング（株）のサーボプレス DEF- C1- 800A2 を導入した。

1) 改良型外周拘束摩擦加締め方法の概要

図 2. 2. 5 に開発装置の概要を示す。

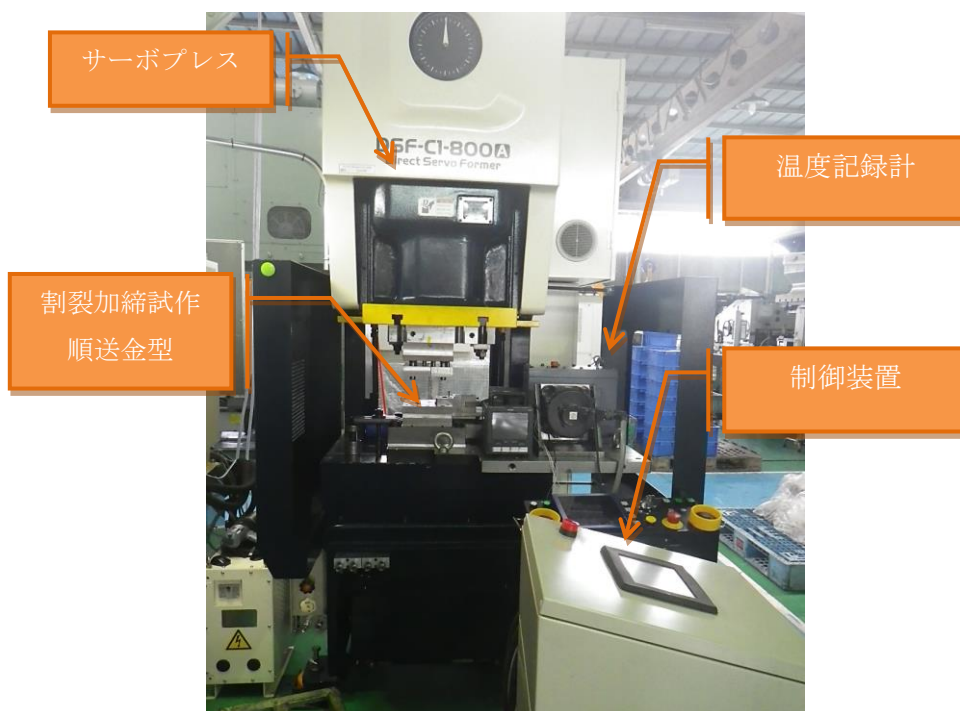


図 2. 2. 5 サーボプレスと改良型外周拘束摩擦加締め金型

AC サーボモータの回転を増速機で加速して摩擦加締め部に連結する。摩擦加締め部でプレスによる加圧を加えることで加締めを行う。

2) 改良型外周拘束摩擦加締金型による実験内容と結果

実験に使用するサンプルは図 2.2.6 に示すように挿入側の幅を狭めて拘束密度を向上し、摩擦パラメータを変化させ引張強度と外観形状の確認を行った。摩擦時の熱放散による温度低下を避けるため断熱材を使用した。サーボプレス機の加圧は2段階とした。

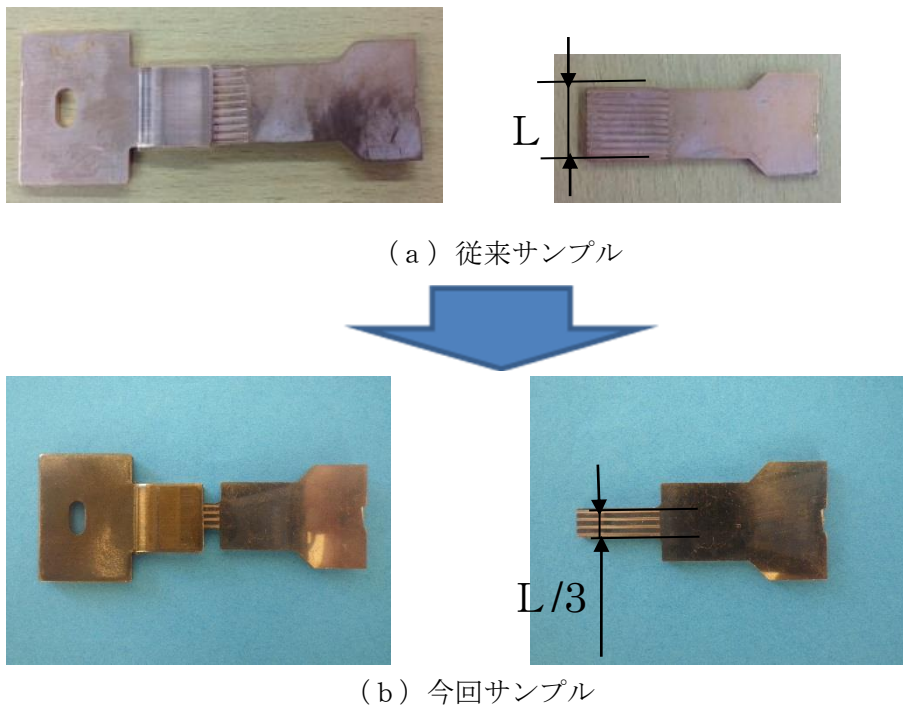


図 2.2.6 実験用サンプル

① 断熱材による温度変化確認結果

実験結果を図 2.2.7 に示す。断熱材 A では温度が 30°C であったが断熱材 B は 55~65°C と断熱効果が見られた。

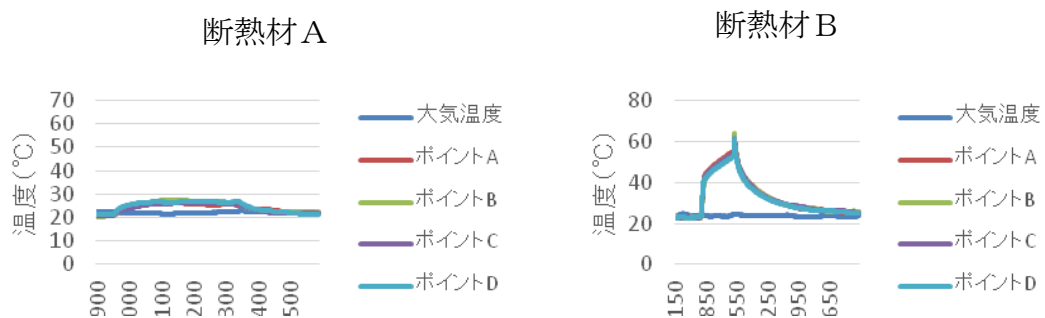


図 2.2.7 温度計測結果

② 加締め条件と引張強度測定結果

断熱材Bを使用しプレス荷重F_Nを加えた状態でサーボモータ回転数R_{rpm}をかけて、加締め荷重を加えて実験を行った。実験結果を図 2.2.8 に示す。

◎:材料破断 ○:2500N以上
△:2500N未満 ×:手で外れる

【断熱材B】 回転数 (rpm)

| | | R0 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 荷重 (kN) | F0 | ○ | △ | △ | △ | △ | △ |
| | F1 | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ |
| | F2 | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ |

図 2.2.8 サーボモータ回転数とプレス荷重による強度測定結果

③ サンプル表面観察結果

同種材金属において、モータ回転数R₁rpm、加圧力F₁N、断熱構造において製作したサンプルのSEM観察結果を図 2.2.9 に示す。引張強度は材料破断強度の50%以上を確保しており、SEMによる断面観察では部分的ではあるが金属間接合部を確認した。

しかし、引張強度のばらつきがあり、かつ、下限値が目標下限値に近いため更なる引張強度の向上を求め、加締め時の材料温度向上を検討する。

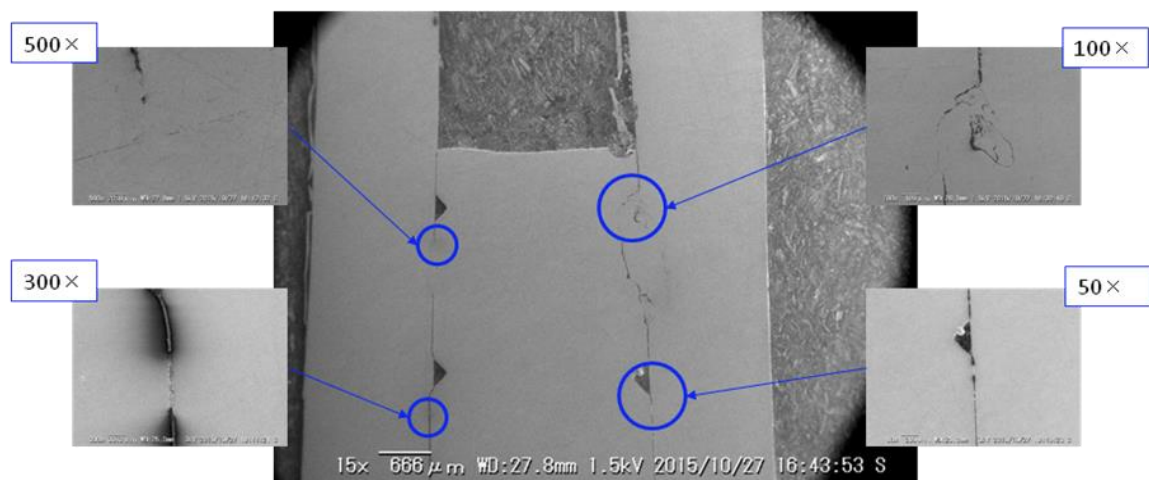


図 2.2.9 同種材金属の断面観察結果 (SEM)

(2) 外周拘束摩擦加熱加締方法

引張強度の安定化は金属間接合の安定化にあると考え、材料を加熱する事を検討した。実験装置の概要を図 2.2.10 に示す。



図 2.2.10 外周拘束摩擦加熱加締実験装置の概要

1) 加熱による温度上昇確認結果

加熱時間をパラメータにして温度上昇を記録計にプロットする事で実験を行った。実験結果の一例を図 2.2.11 に示す。本実験より最適条件を見出した。

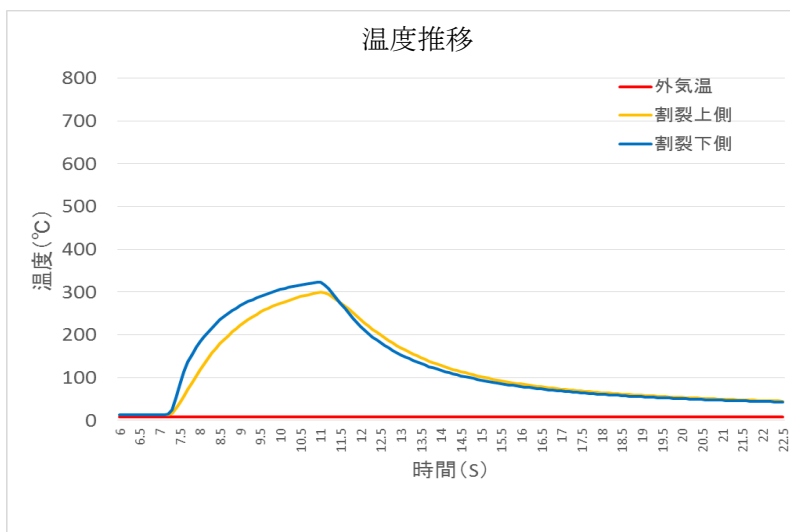


図 2.2.11 加熱温度上昇試験結果

2) 外周拘束摩擦加熱加締実験結果

上記の加熱による温度上昇確認結果から得た最適条件を用いてサンプル作製を行った。同種材金属サンプルにおける引張り試験結果は目標値を満足する結果を得た。サンプル品の SEM による断面観察結果を図 2.2.12 に示す。

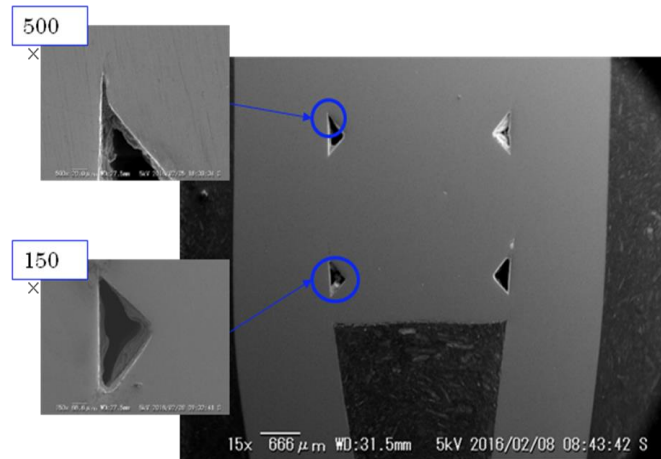


図 2.2.12 同種材金属サンプル断面観察結果

同様に、異種材金属接合においても引張強度の目標仕様を満足している。引剥がし面の顕微鏡写真を図 2.2.13 に示す。

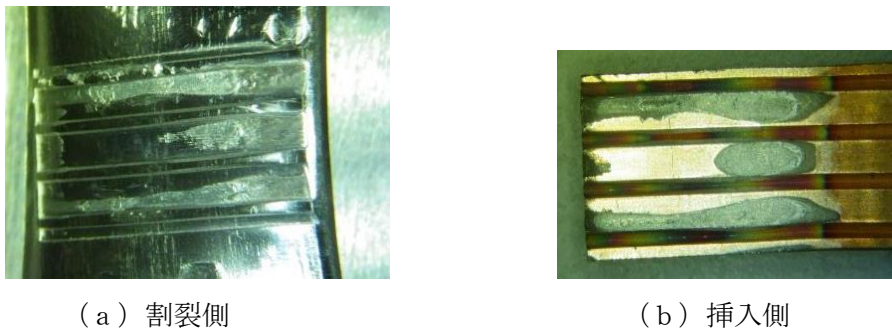


図 2.2.13 異種材金属サンプルにおける引剥がし面観察結果

2-2-2 試作品の評価・検証

外周拘束摩擦加熱加締にて初期特性を確保したため、顧客要求仕様の耐久試験条件で評価・検証した。評価設備の外観を図 2.2.14 に示す。冷熱試験機は、公益財団法人日立地区産業支援センターの ESPEC 社 TSA-70L-A、振動試験機は同センターの IMV 社 VE-1031-200T を使用した。引張り試験機は、茨城県工業技術センターの (株) インストロン 55R1125 型を使用し評価した。



(a) 冷熱試験機 (ESPEC 社 TSA-70L-A)



(b) 振動試験機 (IMV 社 VE-1031-200T)



(C) 万能試験機 ((株) インストロン 55R1125 型)

図 2.2.14 評価・検証設備

1) 同種材金属接合サンプル

冷熱試験条件 ($-40^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 105^{\circ}\text{C}$ 、1000 サイクル) に対し 100、300、500、1000 サイクル終了後引張試験を実施し、また、振動試験 (100m/s^2 48 時間) 終了品も同様に引張試験を実施し母材強度の 50%以上満足している事を確認した。冷熱試験 168 サイクル終了品及び振動試験 48 時間終了品の引張試験結果を図 2.2.15 に示す。

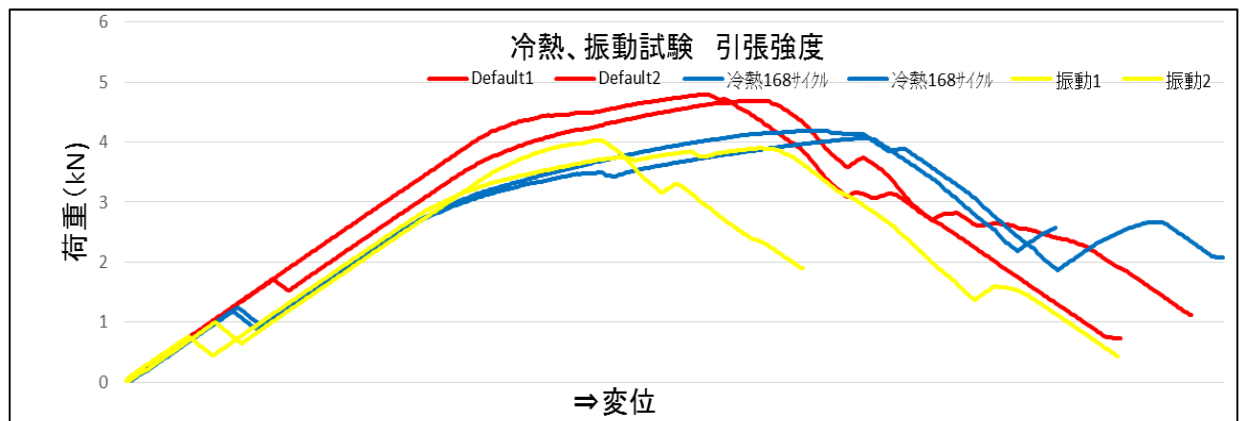


図 2.2.15 同種材金属接合サンプルの引張試験結果

2) 異種材金属サンプル

異種材金属接合サンプルにおいての冷熱試験 168 サイクル終了品及び振動試験 48 時間終了品の引張試験結果を図 2.2.16 に示す。

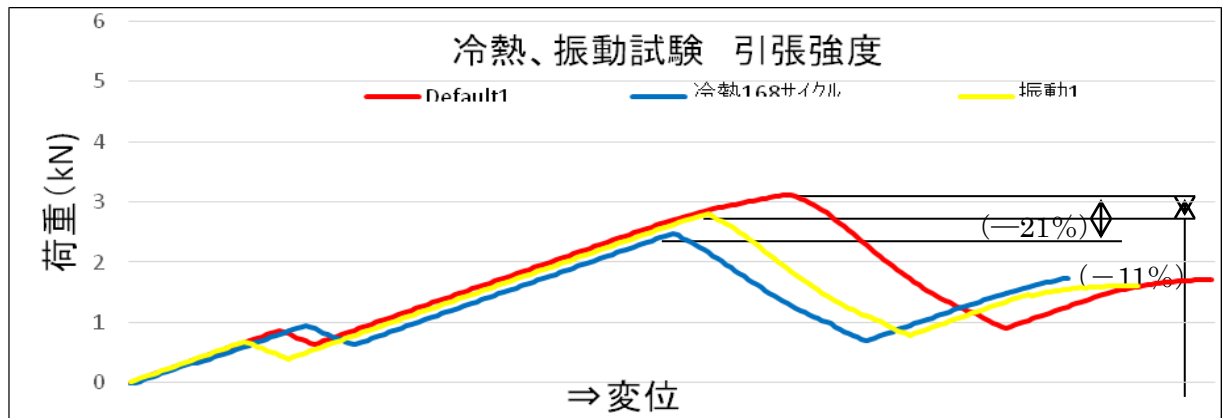


図 2.2.16 異種材金属接合サンプルの引張試験結果

2-3 同一金型内での量産技術の開発

(実施：株式会社関プレス、国立大学法人茨城大学、茨城県工業技術センター)

ブランク工程、割裂工程、加締工程を横型に配置し挿入部品を割裂部に投入し摩擦する構造で開発サンプルを製作した。

2-3-1 割裂加締試作順送金型による量産技術の確立

今回改造を加え開発した外周拘束摩擦加熱加締金型を付加した割裂加締試作順送金型を図 2.2.17 に示す。本金型を用い開発サンプルにて要素技術を確認した。量産に際しては、顧客仕様による形状となるため今回確立した要素技術を基に顧客毎に要求仕様を織り込むことで短期間での量産立ち上げが可能である。



図 2.2.17 割裂加締試作順送金型の概要

2-3-2 試作品の評価

今回試作したサンプルについては冷熱試験 168 サイクル及び振動試験 48 時間終了品では目標仕様を満足して問題無い。今後も評価・検証を継続確認する。また、電気的特性についても今後川下企業の協力を得て実施する。量産品については、顧客毎に要求仕様が異なるため今回開発した技術を基に個々に対応が必要であると考ええる。

第3章 今後の課題と事業化への取組み

3-1 今後の課題

量産に際しては、顧客毎の仕様となるため今回確立した要素技術を基に顧客仕様を織込み短期間での量産立上げを図る。

3-2 事業化展開

以下に示す引合い案件に対応し、技術の拡充を図る。

| NO. | 企 業 | 問合せ内容 | 備 考 |
|-----|-----------|--|-----------|
| 1 | 自動車大手 T社 | 銅-銅接合にて、板厚 0.6mm | 要期：2016.5 |
| 2 | 電機大手 D社 | 銅-銅接合にて、板厚 0.6mm | 要期：2016.7 |
| 3 | 電機大手 H社 | 銅-銅接合にて、板厚 3.0mm 銅-アルミ接合にて、板厚 3.0mm | 要期：2016.4 |
| 4 | 産業機器大手 N社 | アルミ-アルミ接合にて、板厚 2.0mm | 要期：2016.4 |

以上