

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電気自動車向けIGBT用高性能ヒートシンク成形用金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成26年 3月

委託者 関東経済産業局  
委託先 公益財団法人長野県テクノ財団

# 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 |
| 1-1-1 | 研究開発の背景                  |   |
| 1-1-2 | 研究目的及び目標                 |   |
| 1-2   | 研究体制                     | 2 |
| 1-2-1 | 研究組織                     |   |
| 1-2-2 | 管理体制                     |   |
| 1-2-3 | 管理員及び研究員                 |   |
| 1-2-4 | 経理担当者及び業務管理者             |   |
| 1-2-5 | 協力者                      |   |
| 1-3   | 成果概要                     | 5 |
| 1-3-1 | フィンを加工するための金型の設計・作成      |   |
| 1-3-2 | 金型の駆動装置の開発               |   |
| 1-3-3 | 加工メカニズムの検証               |   |
| 1-3-4 | シミュレーションソフトの研究、データベースの整備 |   |
| 1-4   | 当該研究開発の連絡窓口              | 6 |

## 第2章 本論

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 2-1   | フィンを加工するための金型の設計・作成           | 7  |
| 2-1-1 | 高精度・微細成形の波形フィン用金型設計検証・調整      |    |
| 2-1-2 | 難加工材（銅材）成形のための金型設計・製作・調整      |    |
| 2-2   | 金型の駆動装置の開発                    | 12 |
| 2-2-1 | 複合加工用の高クランプ力・高精度制御のテーブルの検証・調整 |    |
| 2-2-2 | 自動化可能な駆動装置の検証・調整              |    |
| 2-3   | 加工メカニズムの検証                    | 14 |
| 2-3-1 | CNC画像測定システム                   |    |
| 2-3-2 | フィン性能評価                       |    |
| 2-3-3 | 加工性評価実験                       |    |
| 2-4   | シミュレーションソフトの研究、データベースの整備      | 24 |
| 2-4-1 | シミュレーションソフトの研究、データベースの整備      |    |
| 2-4-2 | 加工メカニズムの解析                    |    |
| 2-4-3 | データベースの整備                     |    |

|     |      |    |
|-----|------|----|
| 第3章 | 全体総括 | 28 |
|-----|------|----|

## 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

世界を牽引する自動車は近年、温暖化・エコロジー対応目的にハイブリッド（HEV）・電気自動車（EV）が牽引し、次代の主役として、現在のエンジン仕様車に替わって話題を集め実際に販売台数を伸ばしている。

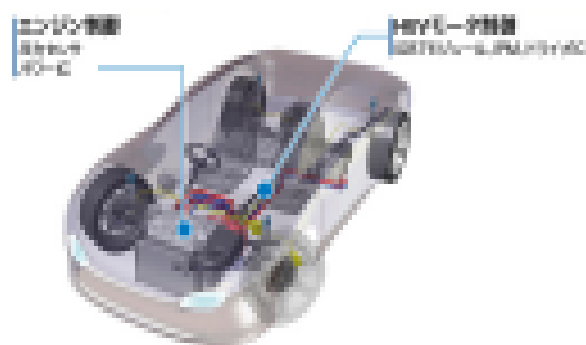
その HEV・EV のハイパワーを支え、制御するパワー半導体 IGBT は、現在日本がトップシェアを有し車の発展を支えている。

しかしながら、IGBT は電気自動車の急速な高性能化に伴い、発熱量が大幅に増加している。そのため、川下企業は冷却効率が高く、小型で低コストな新冷却機構を求めている。ヒートシンクは冷却機構の主要部品であり、ヒートシンクの製造メーカーである中村製作所株式会社に対しても、川下企業（自動車メーカー、ユニットメーカー、IGBT メーカー）からヒートシンクの冷却性能の向上および小型化・低コスト化というニーズが強くきている。

川下企業からもっとも強い要望である冷却効率の上昇させるため、銅材を使い、ヒートシンクのフィン形状を微細・波形にしたヒートシンクを作成する。フィン形状を微細・波形にすることにより冷却効率が大幅に上昇するため、従来のヒートシンクより小型にすることが可能である。

また、ヒートシンクのフィンを微細・波形にするためには、従来のプレス金型技術では加工が不可能であるため、中村製作所株式会社が持つ特許を駆使しヒートシンクのベースとフィンを一体的に成形するという今までに無い加工方法を確立する必要がある。ベースとフィンの一体成形によりヒートシンクの低コスト化が達成されるため、川下企業の要望である低コスト化にも応えることができる。

本研究開発は、上記のヒートシンク加工の生産技術を確立することで、川下企業からの複数のニーズに一気に応えることができる画期的かつ他の事業者も取り組んでいない 世界初 の取組となっている。



#### 1-1-2 研究目的及び目標

電気自動車の急速な高性能化に伴いパワー半導体 IGBT も大幅な発熱量増加となり、IGBT 用冷却機構についても大幅な冷却効率の向上と小型・低コストが求められている。このため、冷却機構のキーデバイスであるヒートシンクの成形用金型と成形技術の高度化により、大幅な冷却効率向上・小型化・低コスト化したヒートシンクの加工生産技術を確立させるのが、本研究開発の目的である。

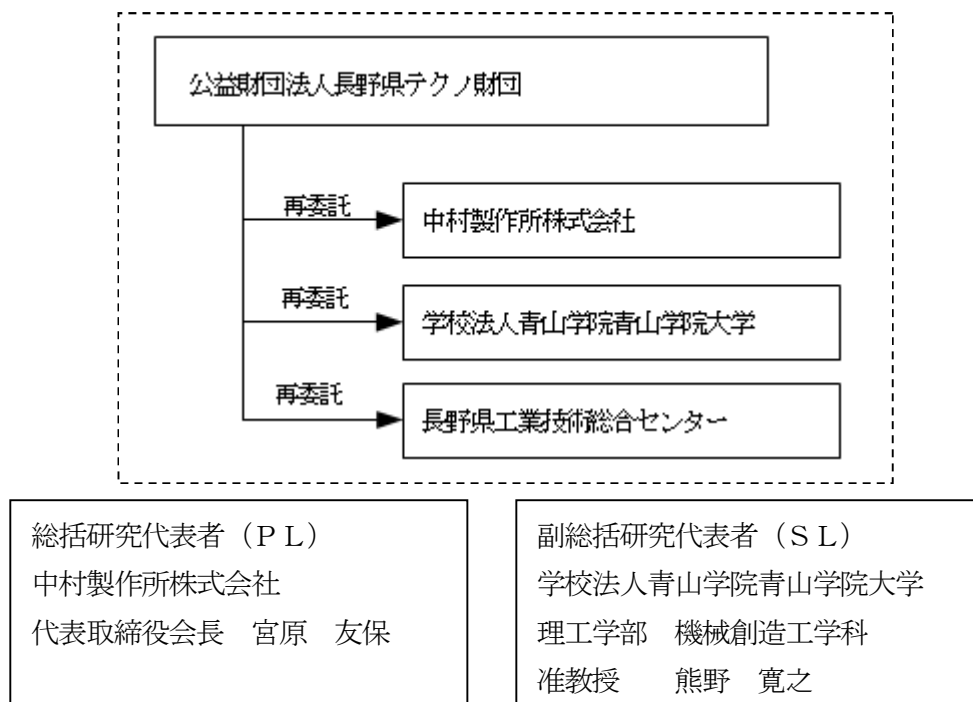
研究の目標として、微細加工金型技術を応用し、熱伝導率の高い銅製を微細・波形加工したフィンの開発により冷却効率を向上し、熱抵抗 4 5 % 減少・熱伝導率 7 5 % 向上を目指す。ベースとフィンを一体的に成形する加工方法を確立し、微細・小型・軽量化を図りユニット容量 7 5 % 削減を目標とする。それにより、電気自動車のデザイン自由度向上、燃費効率の向上、消費電力の低減に寄与する。

本研究開発の概要は、次のとおりである。

冷却機構の主要部品であるヒートシンクに銅材等を使用しフィン形状を微細・波形とすることで、冷却効率向上・小型化・低コスト化を実現する。また、ヒートシンクのベースとフィンを一体的に成形する加工方法も併せて開発する。本年度は評価可能な製品に仕上げ、低コスト製品を開発し提案する。また、これらの技術について、加工メカニズムの検証及び加工シミュレーション、データベースの整備を行う。

## 1-2 研究体制

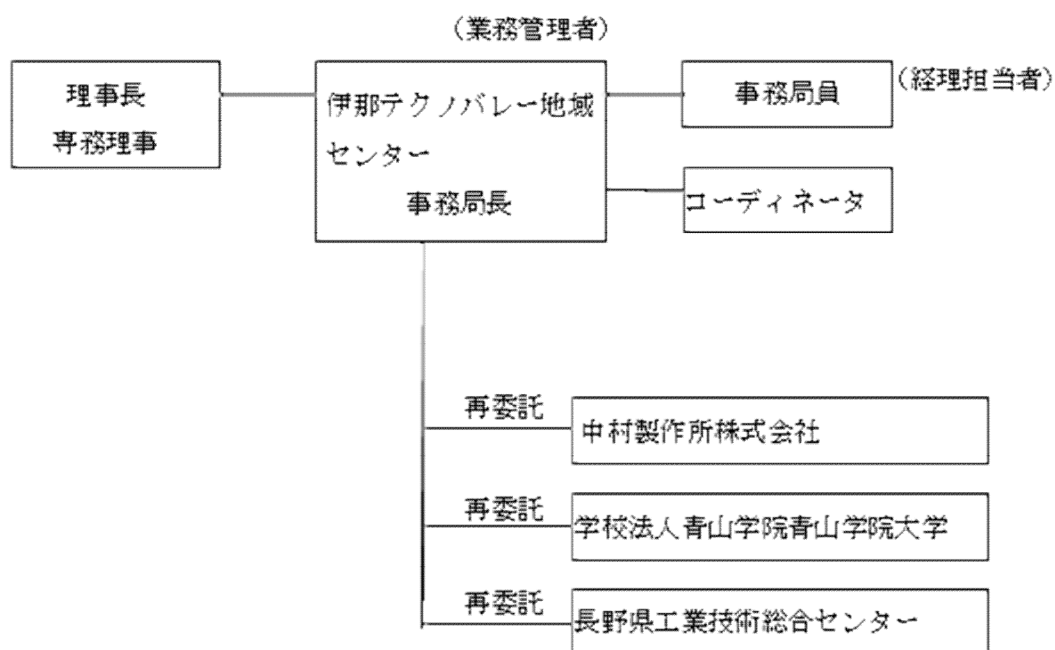
### 1-2-1 研究組織（全体）



### 1-2-2 管理体制

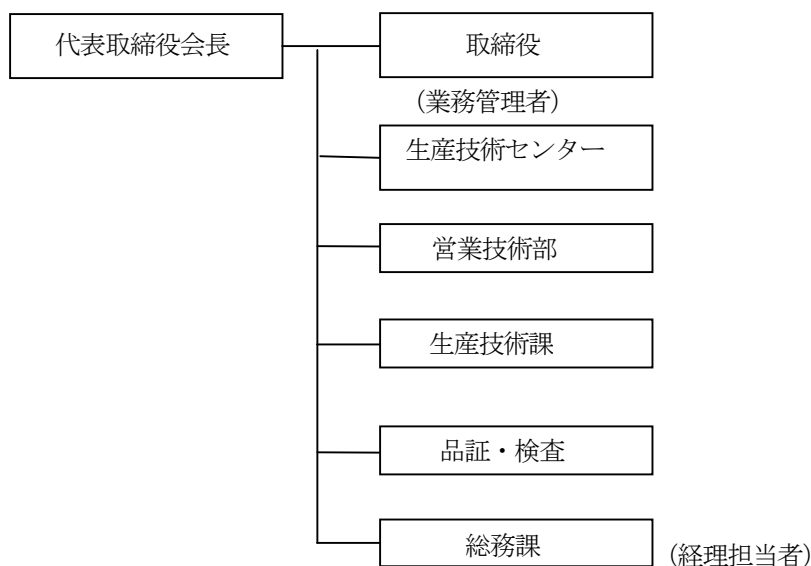
#### 1) 事業管理機関

[公益財団法人長野県テクノ財団]

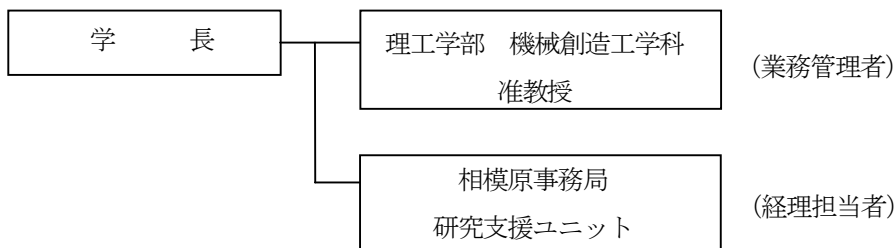


2) 再委託先

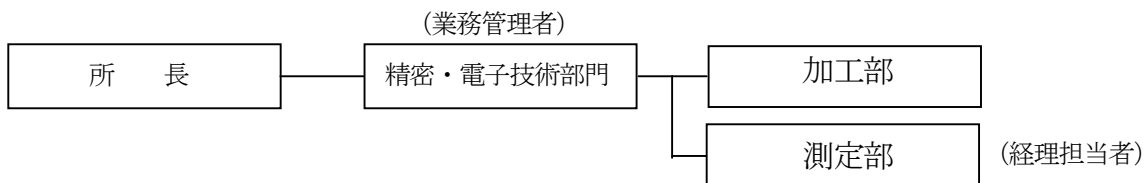
[中村製作所株式会社]



[学校法人青山学院青山学院大学]



[長野県工業技術総合センター]



1-2-3 管理員及び研究員

1) 管理員【事業管理機関】

公益財団法人長野県テクノ財団

| 氏 名   | 所属・役職  | 備 考 |
|-------|--|-----|
| 林 正樹  | 公益財団法人長野県テクノ財団 伊那テクノ<br>バレー地域センター 事務局長       |     |
| 藤田 恵子 | 公益財団法人長野県テクノ財団 伊那テクノ<br>バレー地域センター 事務局員       |     |
| 中谷 英夫 | 公益財団法人長野県テクノ財団 伊那テクノ<br>バレー地域センター テクノコーディネータ |     |

## 2) 研究員【再委託先】

中村製作所株式会社

| 氏名     | 所属・役職       | 備考             |
|--------|-------------|----------------|
| 宮原 友保  | 代表取締役会長     | PL             |
| 宮原 英行  | 取締役         |                |
| 熊谷 政晴  | 生産技術センター 部長 |                |
| 八弮 住夫  | 営業技術部長      |                |
| 高橋 敬一  | 生産技術センター 技師 |                |
| 上田 康彦  | 生産技術課 課長    |                |
| 尾名高 大蔵 | 生産技術課 研究員   |                |
| 宮田 由弘  | 生産技術課       |                |
| 中村 貞夫  | 生産技術センター 技師 | H25. 11. 30 まで |
| 宮下 勇二  | 生産技術センター    | H25. 6. 10 まで  |
| 佐々木 和彦 | 生産技術センター    |                |
| 矢野 征人  | 金型製造課       | H25. 12. 2 より  |
| 三澤 博史  | 金型製造課       | H25. 6. 11 より  |
| 高橋 憲一  | 品証・検査       |                |

学校法人青山学院青山学院大学

| 氏名    | 所属・役職            | 備考 |
|-------|------------------|----|
| 熊野 寛之 | 理工学部 機械創造工学科 准教授 | SL |

長野県工業技術総合センター

| 氏名    | 所属・役職               | 備考 |
|-------|---------------------|----|
| 小口 京吾 | 精密・電子技術部門 加工部 部長    |    |
| 山岸 光  | 精密・電子技術部門 加工部 主任研究員 |    |
| 新井 亮一 | 精密・電子技術部門 加工部 研究員   |    |

## 1-2-4 経理担当者及び業務管理者

【事業管理機関】公益財団法人長野県テクノ財団

(経理担当者) 伊那テクノバレー地域センター 事務局員 藤田 恵子  
 (業務管理者) 伊那テクノバレー地域センター 事務局長 林 正樹

【再委託先】

中村製作所株式会社

(経理担当者) 総務課 総務課長代理 加藤 一友  
 (業務管理者) 取締役 宮原 英行  
 (業務管理者) 生産技術センター 部長 熊谷 政晴

学校法人青山学院青山学院大学

(経理担当者) 研究支援ユニット 中居 りさ  
 (業務管理者) 理工学部 機械創造工学科 准教授 熊野 寛之

長野県工業技術総合センター

(経理担当者) 精密・電子技術部門 測定部主事 山崎 太登  
 (業務管理者) 精密・電子技術部門 部門長 横道 正和

## 1-2-5 協力者

【アドバイザー】

| 氏名    | 所属・役職   | 備考 |
|-------|---|----|
| 山本 義久 | アイシン・エイ・ダブリュ株式会社 HV技術<br>部 部長                 |    |
| 青木 一雄 | アイシン・エイ・ダブリュ株式会社 技術本部<br>ハイブリット部 先行開発グループ 主担当 |    |

## 1-3 成果概要

### 1-3-1 フィンを加工するための金型の設計・作成

(実施：中村製作所株式会社、学校法人青山学院青山学院大学、長野県工業技術総合センター)

#### (1) 高精度・微細成形の波形フィン用金型設計・製作・調整

微細波型フィンの成形可能な金型の耐久性の確認を(1-3-2)の連続加工と合わせ、評価する。また、フィンピッチ及び波形状の最適化を計り、従来のストレートフィンに対して熱抵抗値を45%減少、熱伝導率75%向上を目指す。

#### (2) 難加工材(銅材)成形のための金型設計・製作・調整

冷却効率の向上、成形用金型技術の開発を昨年度に引き続き実施する。昨年度の課題として応力によりIGBTの接合面に複雑な形状が起こる事が確認されており、今年度はこの課題への対策を含めた金型の最終形状の検証を行い、開発を完成させる。

### 1-3-2 金型の駆動装置の開発

(実施：中村製作所株式会社)

#### (1) 複合加工用の高クランプ力・高精度制御のテーブルの検証・調整

省材料化を図ったブランクにて、駆動装置の検証を進める。振動によるフィンのバラツキ、変化について検証するとともに、(2)の駆動装置を用い耐久性も見極める。

#### (2) 自動化可能な駆動装置の検証・調整

金型動作と同期化し、ブランクの自動投入自動取り出し機構の付帯した装置の検証・調整を行い、取り出しの時間の最適化を計り以下の加工を目指す。

- ・自動加工：20時間/日の連続加工
- ・使用材料25%節約で加工

### 1-3-3 加工メカニズムの検証

(実施：中村製作所株式会社、学校法人青山学院青山学院大学、長野県工業技術総合センター)

評価装置を用いた成形加工とシミュレーションによる解析を更に進め、パラメータを振り、解析精度を上げる。同時にシミュレーションソフトの有効性の検証と制度アップを進める。評価では波形フィンの優れた性能について、乱流による高効率化と予測、最適化を図る。

### 1-3-4 シミュレーションソフトの研究、データベースの整備

(実施：中村製作所株式会社、長野県工業技術総合センター)

ヒートシンク形状の加工シミュレーションを行う切削シミュレーションソフト Adbant Edge の整合性を課題に研究し、上記 1-3-1、1-3-2 及び 1-3-3 で開発したノウハウ等をデータベース化し、事業化の際に設計・試作・評価等最適化が行えるように、技能のデジタル化、シミュレーション、金型の知能化、及び原価まで含めた情報統合化を図る。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

#### 事業管理機関

〒399-4501 長野県伊那市西箕輪2415-6

公益財団法人長野県テクノ財団 伊那テクノバレー地域センター

担当者 事務局長 林 正樹

連絡先 TEL 0265-76-5668

FAX 0265-73-9023

E-mail ma-hayashi@tech.or.jp

#### 中核研究機関

〒399-4603 長野県上伊那郡箕輪町三日町493-1

中村製作所株式会社

担当者 総務課長 加藤一友

連絡先 TEL 0265-79-3880

FAX 0265-70-5048

E-mail k\_katoh@nakamurafg.co.jp



## 第2章 本論

### 2-1 フィンを加工するための金型の設計・作成

(実施：中村製作所株式会社、学校法人青山学院青山学院大学、長野県工業技術総合センター)

#### 2-1-1 高精度・微細成形の波形フィン用金型の検証・調整

微細波型フィンの成形可能な金型の耐久性の確認を(2-2-2)の連続加工と合わせ、評価する。また、フィンピッチ及び波形状の最適化を計り、従来のストレートフィンに対して熱抵抗値を45%減少、熱伝導率75%向上を目指す。

##### (1) 耐久確認の実施

川下メーカー(アイシンAW)の検討案件を目的形状として、波フィン加工を実施、数増し加工にて波パンチの磨耗、耐久性確認を2-2-2自動化可能な駆動装置による20時間連続加工と合わせて実施した。

図2-1-1-2に川下メーカーの案件についてフィンの加工状況を示す。①波形状パンチ、②波フィン加工(波フィンの順送り転写)③加工完了の成果物。

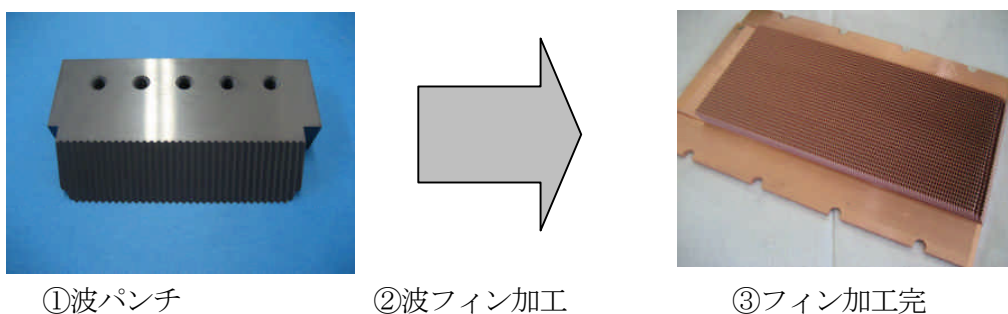


図 2-1-1-2

##### (2) 波形状の最適化、解析用テストピース作成

また、更に熱特性アップを狙ったフィン形状について、解析用テストピースを作成し実施している、比較形状①直フィン②矩形フィン③三角フィンを図2-1-1-3に示す、テストピースは更に夫々フィンピッチを振って作成している。

図2-1-1-4では熱解析用波フィンのテストピースの作成に使用した、波フィン作成用パンチとパンチに転写された三角フィンの形状を示す。

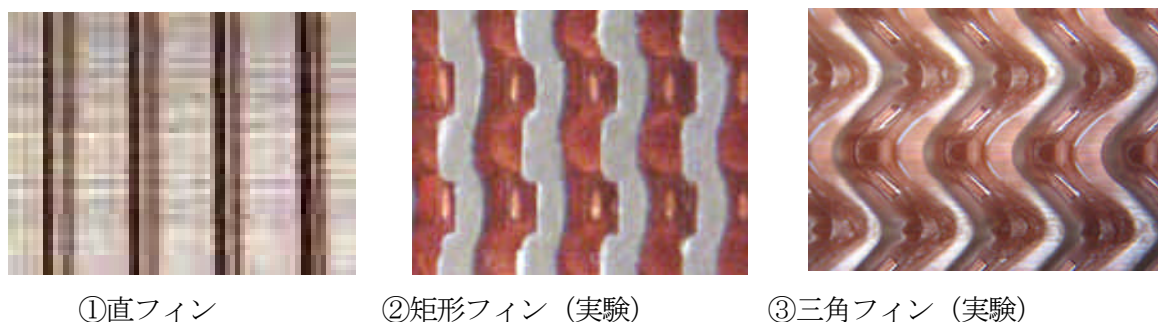
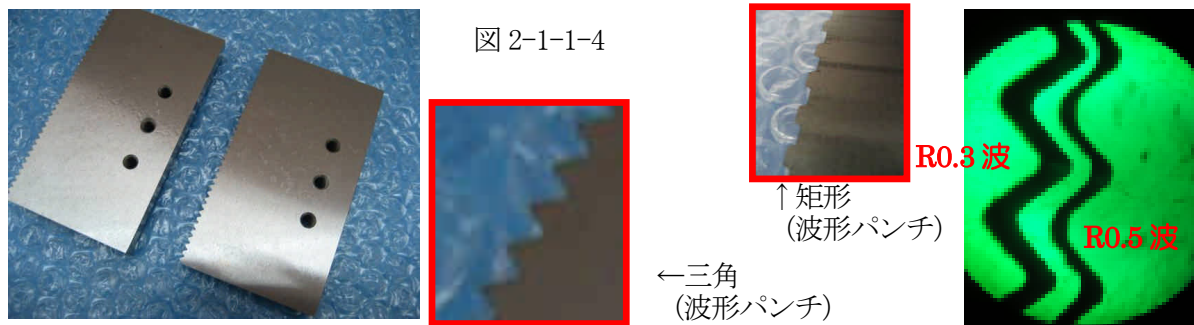


図 2-1-1-3

## 解析用三角フィン（矩形フィン）（実験）



### (3) まとめ

耐久性の確認として、銅素材（アルミに対し熱伝導率 75%向上）の加工を実施、20時間の連続運転を行っている、連続運転にておよそ 600 枚の生産を実施した。

ヒートシンク 1 枚につき、順送りによる成形により、フィンは 123 枚形成され、ショット数は 600 × 123 となる、従って今回の連続運転によるショット数は 73,800 ショットを超えている。

しかし、その間にパンチのチッピング及び磨耗による変化は見られなかった事から、今後の量産に飛び込む事が可能といえる。

更に熱抵抗値を 45%減少目標に対し、上記のテストピース作成にて実験し、結果として、45%を超える熱抵抗の減少を確認した、データを後ほど紹介したい。

## 2-1-2 難加工材（銅材）成形のための金型設計・製作・調整

冷却効率の向上、成形用金型技術の開発を昨年度に引き続き実施する。昨年度の課題として応力により IGBT の接合面に複雑な形状が起こる事が確認されており、今年度はこの課題への対策を含めた金型の最終形状の検証を行い、開発を完成させている。

### (1) IGBTヒートシンク最終形状の作成

既に前工程の金型設計・製作・調整については、24年度事業にて実施中である、25年度は更に最終工程まで実施した。

#### (1-1) 設計の狙い

①前年度製作した、ブランク抜き型及びフラット修正型を使用して製作したブランクを、川下企業の必要とする製品形状で抜く為の総抜き型を設計・製作する。

②製品を抜く金型は、フィンを上面にした場合と、フィンを下面にした場合の、両方が抜ける型とする。

③上記内容を踏まえて、川下企業の製品形状で抜く為の総抜き型の設計を行う。

図 2-1-2-2（下写真）に総抜き型と、省材料化したブランクを示す。

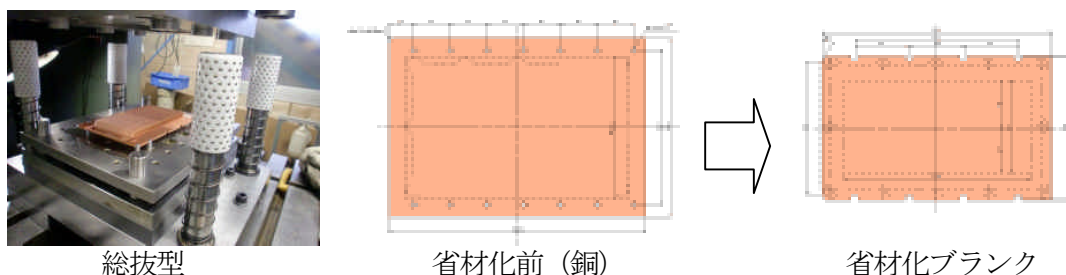


図 2-1-2-2

## (2) 異形状素材の入手

コスト低減のための開発を実施

### (2-1) 狙い

①現行は、一般冷延素材④を切削加工にて、異形状素材⑤を製作し、ブランク供給しているが、コスト・納期の面にて問題がある。(図 2-1-2-3)

②材料メーカーにて、異形状素材⑤が切削以外の加工方法にて、製作したい。

### (2-2) 状況

①材料メーカーにて、異形状素材⑤を製作するに当たり、ロール圧延と押出加工の 2 種類の加工方法があり、凸形状の製作は可能である。

②加工するに当たり、板厚 3mm 以下の制約があり、板厚 3mm 以上は加工不可である。

③原材料メーカー(JX 金属㈱)にて、異形状素材⑤を 1 本試作して頂く。⇒板厚 8~9mm の母材を、ロール圧延して加工した材料である。(図 2-1-2-4)

※. 試作の材料には、ロール圧延中にローラーが止まった痕及び傷が付いている。

④JX 金属㈱より入手のロール圧延した異形状素材⑤を実際にフィン加工、製品にしている。

### (2-3) 結果

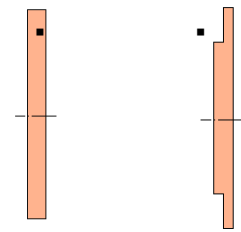
フィン加工及び、打ち抜き加工について、ロール圧延による加工上の問題はない。

⑤JX 金属㈱より、ロール圧延して加工した異形状素材⑤は、切削加工した素材よりコスト高になる。⇒理由：ロール圧延機が専用機となり、コストに跳ね返る。

⑥ロール圧延した異形状素材⑤は、板厚公差が $\pm 0.2$  であり、希望する板厚公差 $\pm 0.05$  には加工出来ない。⇒理由：ロール圧延機の加工能力がない。板厚公差が安定しないとフィン高さに影響し、フィン高さが安定しない。

⑦材料メーカー側にて、一般冷延素材④を切削加工にて、異形状素材⑤を製作する。

⇒理由：材料切削専門メーカーだと、安定供給・低コスト・短納期、さらには板厚公差が確保出来る。



材料断面  
図 2-1-2-3



## (3) VA検討

現在の川下企業の仕様では、切削加工の必要な部分が多々ある。勿論切削の効率化についても並行で開発しているが、切削レスにする事で更に競争力のあるヒートシンクに高める事が可能と成る、川下企業へのデザインガイドとして確立成した。

図 2-1-2-6 (下図) に検討比較を示す。

## VA提案 検討比較表(低価格)

|   | 形状(特徴)              | 素材   | 工程                                     | 価格 | 性能 |
|---|---------------------|------|--|----|----|
| ① | 現状試作<br>(シール面全面切削)  | 板材使用 | ①材料②フィン加工③切削<br>④フラット修正⑤総抜き<br>⑥フラット修正 | ×  | ◎  |
| ② | フィン前後切削             | 凸材使用 | ①材料②フィン加工③切削<br>④フラット修正⑤総抜き<br>⑥フラット修正 | △  | ◎  |
| ③ | 掘り込み形状<br>(段階部のみ切削) | 板材使用 | ①材料②フィン加工③切削<br>④総抜き⑤フラット修正            | ○  | ○  |
| ④ | 掘り込み形状              | 板材使用 | ①材料②フィン加工④総抜き<br>⑤フラット修正               | ◎  | ○  |

### 【ローコスト検討】

- ◆省材料化(完了)
- ◆市販素材使用
- ◆切削レス  
(プレス工程にて完結)

図 2-1-2-6


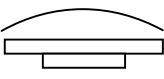


#### (4) 平面坦度の修正

フィン加工応力による平坦度改善を 24 年度よりの懸案として実施、フラット修正型を使用にて平面度を修正した。銅 (Cu) 材、アルミ (Al) 材のそれぞれの検証を行う。

1 回のフラット修正で平面度 0.5mm 以下、目標値 0.2mm 以下を目指す。

##### (4-1) フィン加工後の状態

フィン加工後、フィンを下向きにした時の反りの傾向、平面度は表 2-1-2-1 の通りである。

| 材質   | 長手の反り   | 短手の反り   | 平面度       |                          |
|------|---|---|-----------|--------------------------|
| 銅材   |  |  | 平均 1.04mm | MAX 1.28mm<br>MIN 0.81mm |
| アルミ材 |  |  | 平均 0.33mm | MAX 0.45mm<br>MIN 0.19mm |

フィン加工後の反りの傾向と平面度 表 2-1-2-1

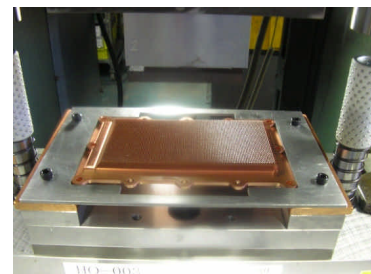
銅材は逆反り、アルミ材は正反りと長手の反りの傾向が逆であり、平面度もアルミ材の方が平均で 30%程度に抑えられている、ばらつき量も銅材よりアルミ材の方が半分程になっている。

##### (4-2) 総抜きによる平面度の変化

24 年度ではフィン加工→フラット修正→切削→総抜き→フラット修正だったが、アルミについては切削後でなければフラット修正出来ない事から、比較のため条件を合わせ、総抜き後のフラット修正のみとした。

総抜き後の平面度は、抜きによる改善が見られた。

| 材質   | 総抜き前    | 総抜き後    |
|------|---------|---------|
| 材質   | 打抜き前    | 総抜き後    |
| 銅材   | 0.928mm | 0.850mm |
| アルミ材 | 0.356mm | 0.330mm |

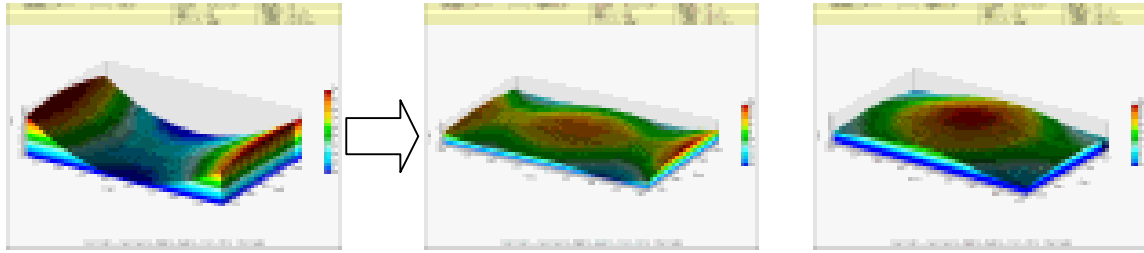


##### (4-3) 銅 (Cu) 平面度修正

銅材は反りの傾向からフィンを上向きにして修正する。

| 修正前       | 修正後       | 改善率   |
|-----------|-----------|-------|
| 平均 1.07mm | 平均 0.34mm | 約 68% |

## 銅材の修正前後の変化



修正前：平面度 1.22mm      修正後：平面度 0.37mm      ※修正し過ぎ：平面度 0.56mm

図 2-1-2-8

図 2-1-2-8 図は修正前後のフィン裏面の形状を表している。右上の図は検証段階で押しすぎて平面度が悪くなってしまった物である。

### (4-4) アルミ (A1) 平面度修正

アルミ材は反りの傾向からフィン下向き修正する。

図 2-1-2-9

| 修正前       | 修正後       | 改善率     |
|-----------|-----------|---------|
| 平均 0.37mm | 平均 0.22mm | 約 39.5% |

アルミ材の修正後の変化

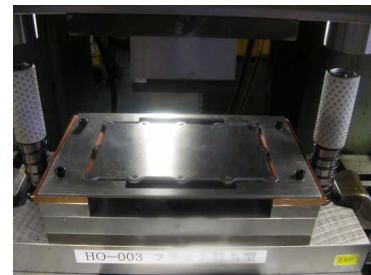


図 2-1-2-9

### (4-5) まとめ

銅材は長手と短手の反りの傾向が逆のうえ、元々の反り量やばらつきが大きく 1 回のフラット修正で 0.5mm 以下にする事が出来た。更に 0.2mm 以下を実現するには反り修正の向きを変え、2 回目の反り修正が必要と思われる、アルミ材は修正前の反り量が 0.5mm 以下となり、フラット修正によって 0.2mm 以下の製品も可能である。

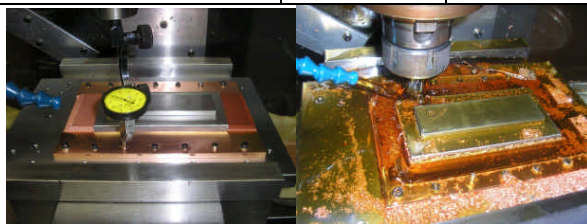
## (5) 難加工材の切削条件の研究

川下企業の仕様にて提供する為必要な切削工程の研究も実施している。

### 切削研究の結果

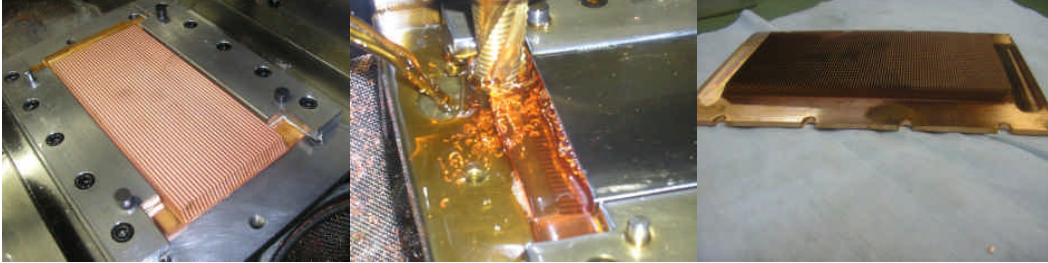
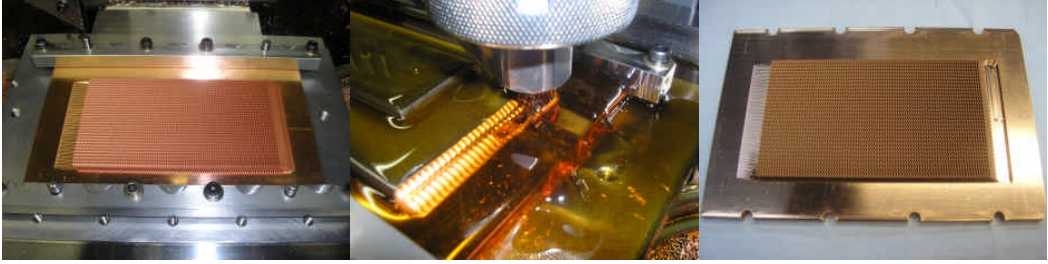
図 2-1-2-16 試作時間詳細(現行工程の分析)

| No | 形状             | 加工時間<br>(h/枚) | 課題  | その他   |
|----|----------------|---------------|---|-------|
|    | 全面切削<br>(現行試作) | 4.0           | <ul style="list-style-type: none"> <li>加工時間が長い</li> <li>全切削のため使用工具が多い</li> <li>フィン切削部分のバリ</li> <li>加工段取りが 2 回必要になる(外周の加工があるため)</li> <li>材料の反り(フィン面側に正反り)</li> </ul> | 治具が必要 |



全面切削 写真



|   |      |   |       |
|---|------|---|-------|
| 凸材切削<br>(フィン両端部切削)  | 1.0  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・フィン切削部分のバリ</li> <li>・材料の反り(フィン面側に正反り)</li> <li>・両端面のフィン切削時の、材厚面と切削面との板厚合わせ</li> <li>・フィン位置により切削両端面に不完全フィンが形成される恐れがある</li> </ul> | 治具が必要 |
|   |      |   |       |
| 両端部切削 写真  |      |   |       |
| 掘り込み形状<br>(段階部切削)   | 0.75 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の反り(フィン面側に正反り)</li> </ul>   | 治具が必要 |
|  |      |   |       |
| 段階部切削 写真  |      |   |       |
| 掘り込み形状<br>(切削加工なし)  | 0    | -----   | ----- |

#### (5-5) まとめ

今回は、主にフィン側面のバリ対策加工と切削加工時間の把握をした。  
 バリ対策では、切削方向(アップカット)がポイントになる。特に仕上げ加工で超硬のエンドミルを使用することで切削面のバリが軽減されてバリ取り時間の短縮に繋がる。刃持ちも良く約 30 枚は加工できる。

切削加工時間は、ブランクの形状が変わることにより切削面積も減るので時間短縮になる。また、加工工具が減るので加工費の軽減にもなる。

フィン切削面のバリ取りは、切削加工がある以上必要になる。そのため、いかにバリを出さないように加工するかがポイントになり、バリ取り時間を左右する。

切削加工をする上で、加工材料のフラット状態も重要になる。フラットがでていないと加工段取りに苦勞し、精度のある加工が出来ない。

## 2-2 金型の駆動装置の開発 (実施：中村製作所株式会社)

### 2-2-1 複合加工用の高クランプ力・高精度制御のテーブルの検証・調整

省材料化を図ったブランクにて、駆動装置の検証を進めた。振動によるフィンのバラツキ、変化についても検証を実施している。

大型フィン専用加工機によるトライを実施、2-2-2 自動化可能な駆動装置との連動による自動運転と合わせて実施した、振動によるフィンのバラツキ、変化も無くまた、振動による繰り返し精度

の高い加工が出来ている。以下 図 2-2-1-1 に示す。

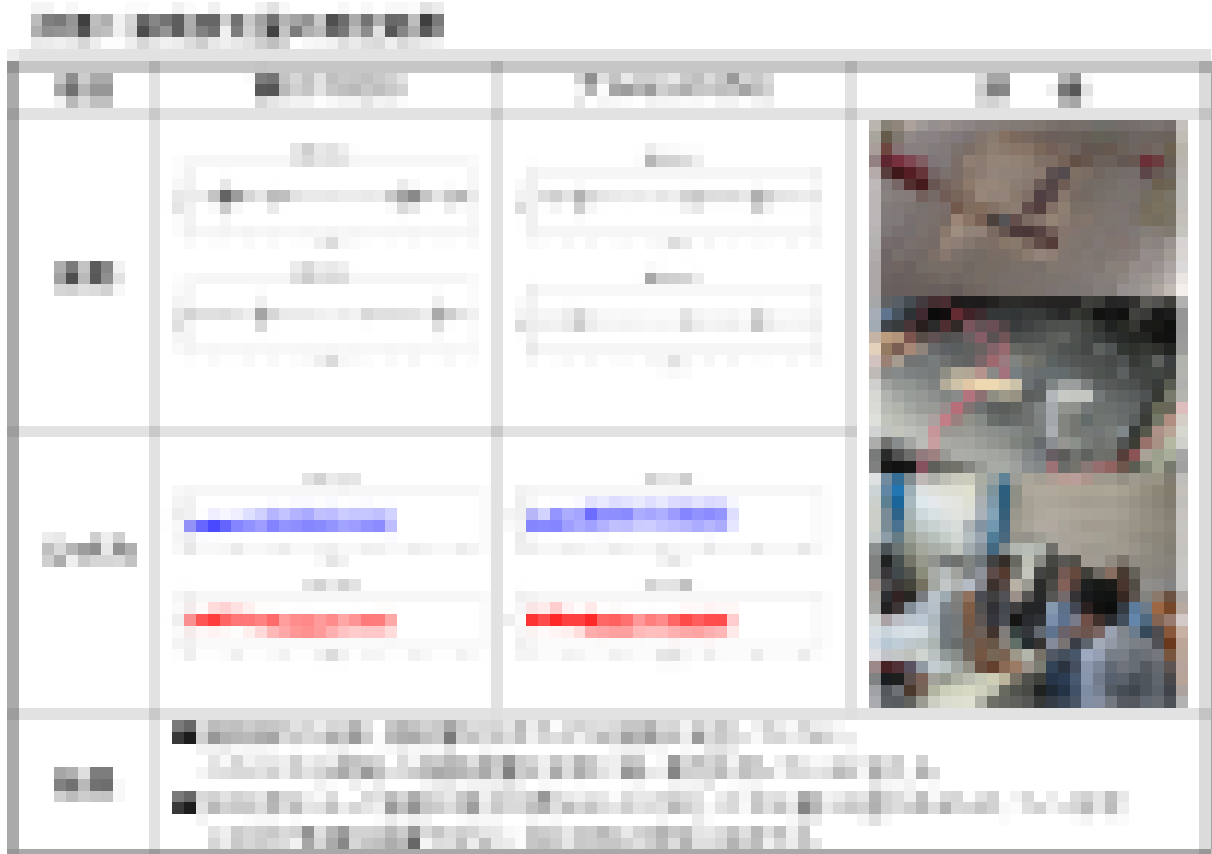


図 2-2-1-1

### 2-2-2 自動化可能な駆動装置の検証・調整

(実施：中村製作所株式会社)

金型動作と同期化し、ブランクの自動投入自動取り出し機構の付帯した装置の検証・調整を行い、取り出しの時間の最適化を計り以下の加工を目指す。20時間の連続加工を実施している。

2-2-1 と連動し手動によるワーク交換作業から自動加工が可能なヒートシンクの生産システムとして確立した、ワークブランク 20 枚を上下するストッカーにセット、このワークを自動搬入自動搬出する機構とし、20時間の連続加工を実施している。図 2-2-2-2

表 2-2-2-1 自動化駆動の仕様

| 項目          | 規 格                       |
|-------------|---------------------------|
| 自動供給排出枚数    | 20 枚                      |
| 上下ストッカー方式   | ACサーボモーター・ボールネジ・精密スライダガイド |
| 供給排出トランスファー | スライダガイド・エアシリンダー           |
| 供給排出タクト     | 10sec/1 枚 (目標)            |
| 制御部         | 独立操作タッチパネル・センサー・サーボアンプ    |



図 2-2-2-2

#### (1) 結果

本案件の製品中のフィン枚数はおよそ 130 枚供給排出時間を含め、加工時間は約 120 秒となり、目標の 40 分の自動運転が可能となった。

合わせて、20時間の評価運転を実施、2-1-1 で示したパンチ、ダイの耐久性の確認も取れた。

(1-2) 図 2-2-2-3・図 2-2-2-4 に 20 時間運転の動作説明を示す。

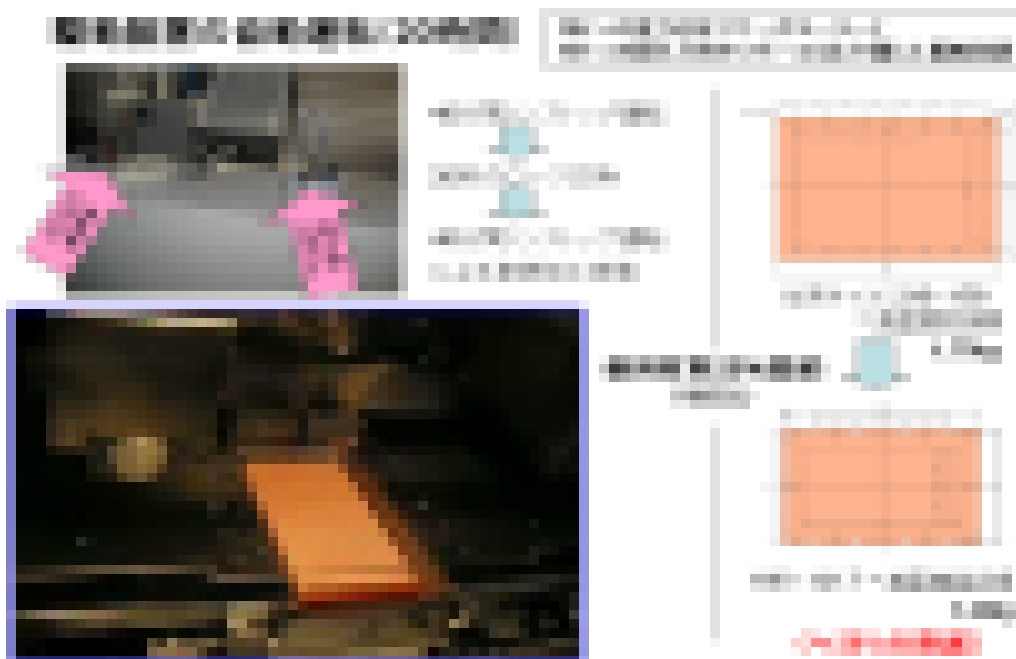


図 2-2-2-3

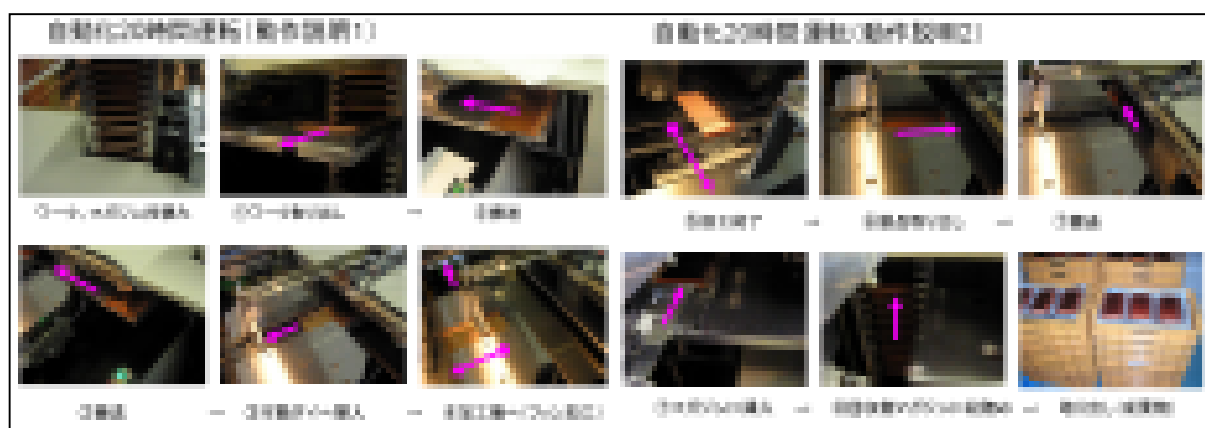


図 2-2-2-4

(2) まとめ

本装置の自動化の課題についてクリア出来た。20時間の連続加工・使用材料25%節約が可能となった。また、IGBT接合面へのキズ、打痕、擦り傷等、品質に及ぼす不具合についても目視確認にて実施、元々の素材キズはあるものの、機械的な要因によるキズ、打痕の抽出は無かった、この駆動装置の完成度は高い。

### 2-3 加工メカニズムの検証

(実施：中村製作所株式会社、学校法人青山学院青山学院大学、長野県工業技術総合センター)  
 評価装置を用いた成形加工とシミュレーションによる解析を更に進め、パラメータを振り、解析精度を上げる。同時にシミュレーションソフトの有効性の検証と制度アップを進める。  
 評価では波形フィンの優れた性能について、乱流による高効率化と予測、最適化を図る。



### 2-3-1 CNC画像測定システム

2-1-2 難加工材（銅材）成形のための金型設計・製作・調整、 2-3-1 複合加工用の高クランプ力・高精度制御のテーブルの調整に関する、測定・評価活動にて実施している。図 2-3-1-1

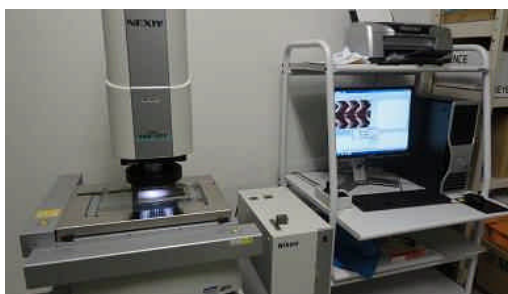


図 2-3-1-1 CNC 画像測定システム

#### (1) 測定・評価サンプル

難加工材（銅材）断付き形状 . . . 従来型

難加工材（銅材）断付き無し . . . VA 型

アルミ材 断付き形状 . . . 従来型 における、裏平面度測定を実施

前回までの成果物作製間の測定・評価実施のポジション

ブランク抜き⇒フィン成形⇒1次平面度修正⇒◇平面度測定・評価⇒切削加工⇒総抜き⇒2次平面度修正⇒◇平面度測定・評価  
フィンピッチの測定では非接触式の為、測定速度が速く、測定時間が短縮された。

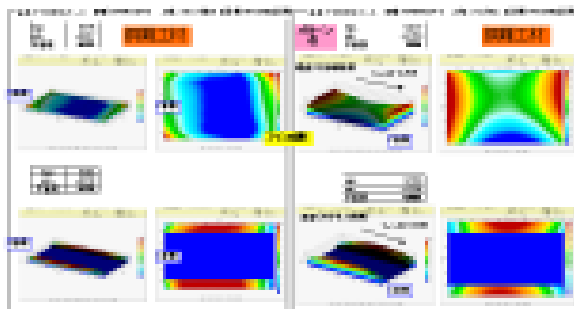


図 2-3-1-1

高速かつ自動による多点測定が可能で、全域に渡る形状測定が容易となった。図 2-3-1-1

#### (3) フィン成形—駆動装置の振動によるフィンピッチの変動検証

フィン成形時の装置振動によって及ぼす製品特性であるフィンピッチ測定を実施

測定方法：従来、波形フィン形状を真上から投影した測定を行っていたが、フィン高さ・倒れ・形状の微小差により同一品でも測定ヶ所により約 0.03mm 誤差が生じたことから装置送り精度の評価方法としては適切でない。そこで、製品側面から投影した測定

方法へ変更し、装置送り精度をより精度の高い形で評価することを実施

評価計算：N=6 サンプルに対して、140mm (1.4mm ピッチ×100 間隔) を測定し、1 ピッチ当りに換算して評価した。

(7-1) 結果：最大-最小 R で 1.6 μm の装置送り誤差、振動による影響度はかなり低い。

| 平均       | R      | σ      |
|----------|--------|--------|
| 1.4001mm | 1.6 μm | 0.6 μm |

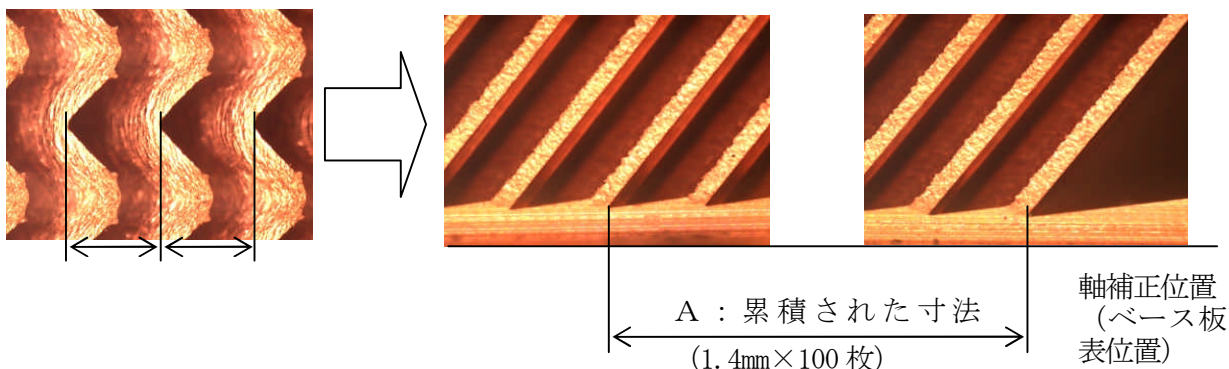


図 2-3-1-9

## (7-2) フィン成形後の平面度修正による平面度測定・評価

※研究当初、フィン成形後の工程、◇1次平面度修正、◇2次平面度修正の測定を行なう予定であったが、工数削減の為、総抜き後の1次平面度修正のみで同効果以上を狙う目標へ変更

今回の成果物作製間の測定・評価実施のポジション、 ブランク抜き⇒フィン成形⇒(切削加工⇒総抜き)⇒平面度修正⇒◇平面度測定・評価となる。

(補足) 2次加工による平面度の影響についても確認。そこで平面度修正後でなく、フィン成形後と総抜き後に平面度精度の比較を行なった。

1) 平面度修正により、銅材-従来型は60%~70%程の改善率を得た。

(前回の1次平面度修正時、1.063⇒0.484 改善率 54% 前回より10%↑)

2) フィン成形後の平面度は先の研究結果から、0.4mm程のバラツキがあることが分かった。よって同じ加工条件で修正を行なっても成形品毎で変化量は異なってくるが、フィン成形後の平面度数値が大きい程、修正後の変化量が大きく(相関)なることが分かる。

## (7) まとめ

今回の報告では、材質と加工形状の違いによる3タイプについて、CNC画像測定機フルに利用し、フィン成形後の平面度測定・評価、並びに平面度修正後の測定・評価を主に実施した。これにより、連続生産フィン成形装置による、難加工材(銅)・アルミ材の従来型フィン成形品の平面度実力値の検証が出来き、今後の製品造りこみに利用できるデータと思う。

工数削減により1回の平面度修正によって、前回よりも平面度の改善率は向上したものの、当初0.2mm以下というレベルまでには達成できていなかった。

また、VA型では、フィン成形品の段階で平面度の数値が従来型と比較して半減しており、バラツキも小さい結果だった。しかしながら、測定領域が大きい成果物を平面度0.2mm以下というハードルはVA型でかつ最適な修正条件下でさえ、達成することが難しく、フィン成形品の平面度精度に応じて、修正時の押し込み力を変化させる必要があるのではないかと思われる。

すなわち、フィン成形品毎による押し込み力の変更という条件変更を標準化するかもしくは、現状よりもフィン成形品のバラツキを押さえることで、成形品を安定させ、条件設定を統一するかのどちらかの対策方向付けを考えることができた。

## 2-3-2 フィン性能評価(青山学院大学)

### (1) 目的

青山学院大学担当分では、フィン形状の最適化を念頭に置き、矩形フィンの形状を変化させて、放熱性能の評価を行うとともに、直形フィンの数値計算結果と比較することにより、矩形フィンの特性の把握を行った。

### (2) フィン概要

今回実験で使用するマイクロピッチフィン、フィンピッチ0.6mmから2.0mm、フィン高さ3.5mmである。また、フィンの波ピッチを2.5mmとした。フィン部は、幅50mm、奥行き50mm、である。フィン部の底厚4mmとなっている。底厚4mmのうち1.5mmはアクリル板に挟み込むために、幅80mm、奥行き70mmとし、残りの2.5mmの側面には、シース熱電対を埋め込むための穴を4点あ

けたものとした。

### (3) 実験装置および実験方法

図 2-3-2-1 に実験装置の概要図を示す。実験装置は、まず恒温槽で水の温度を一定にし、並列につないだ2つのポンプによって試験部に水を送る。試験部で測定した温度はデータロガーを通じてパソコンに保存する。その時、差圧計によって圧力損失も測定する。最後に水量計によって流量を測定するようになっている。

試験部は、図 2-3-2-2 のようになっている。フィンが逆向きについており、上側がフィン底部、下側にフィンが奥行き方向に平行に立っている。そのフィン、アクリル板で挟んで固定し、水がフィンに対して平行に流れるようになっている。その上加熱用ヒーター、ベークライト、補助ヒーターを置き、その上からもう1枚のアクリル板で抑え込むような形になっている。

フィン底部の温度測定のためフィン底部にシース熱電対を2本埋め込み、加熱用ヒーターと補助ヒーターの温度を一致させて熱流束を保証するために、ベークライト上下にT型熱電対を埋め込んである。

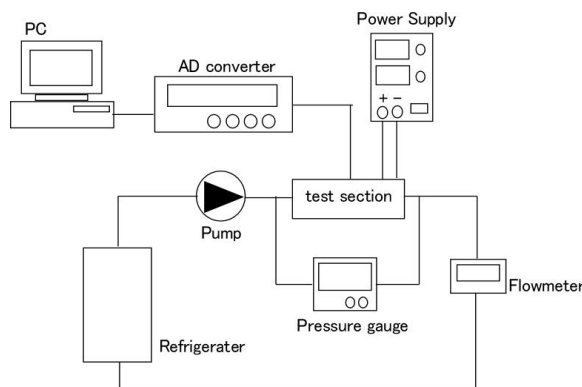


図 2-3-2-1 実験装置概要

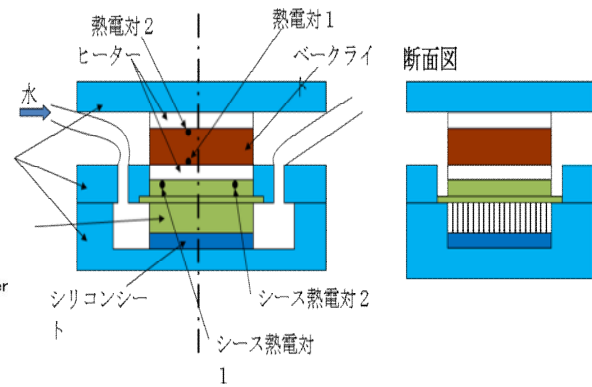


図 2-3-2-2 試験部概要

実験条件は、平均流速を  $0.1\text{m/s}$  から  $0.5\text{m/s}$  の範囲で変化させるとともに、熱流束  $4 \times 10^4$  から  $2 \times 10^5 \text{W/m}^2$  の範囲で変化させた、実験条件を表 1 に示す。

実験方法は、まず水を恒温槽で  $20^\circ\text{C}$  にし、ギヤポンプにより試験部へ流し込む。このとき、試験部に流れ込む直前の温度を測るために、T型熱電対をホースに差し込み、温度補正を行う。試験部では、フィン、ヒーターにより加熱する。このとき、フィンに流れ込む熱量を補償するために補助ヒーターを用い、加熱用ヒーターと補助ヒーターの温度が等しくなるように調節し、全ての熱量がフィンへと流れ込むようにする。そして、そのときのフィン底部の温度はシース熱電対を用い、データロガーを使用してパソコンに記憶する。

それと同時にフィンの圧力損失と流量を測定し再び水を恒温槽へと戻す、また、フィンとヒーターの圧着具合により、フィンの冷却効果に大きな差が出るため、ヒーターを固定しているアクリル板のボルト・ナットの締め付けの強さを固定し、ヒーターと接している面にはグリースを塗って実験を行う。このような実験をヒーター部、フィン部ともに温度が安定してから、5秒間隔で、500秒測定する。

## 実験条件

|                         |  |
|-------------------------|--|
| フィンピッチ (mm)             | 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 |
| 波ピッチ (mm)               | 2.5                                    |
| フィン高さ (mm)              | 3.5                                    |
| 平均流速 (m/s)              | 0.1~0.5                                |
| 熱流束 (W/m <sup>2</sup> ) | 4, 8, 12, 16, 20 (×10 <sup>4</sup> )   |
| 水温 (°C)                 | 20                                     |

表 2-3-2-1

### (4) 数値計算

直形フィンについては、従来の検討で実験結果と解析結果が良い一致を示していることから、数値計算のみで特性と把握を行った。数値計算では、フィンと流路は左右対称と考え、フィンと流路の半分を計算領域とし、水が奥行き方向に流れているとして流路内部およびフィン内部の温度分布を計算する。

### (5) 実験結果

図 2-3-2-3 に、流速を 0.3[m/s]で固定したときの伝熱量の変化による矩形フィンの底部温度と水温との差を表したものである。この表をから、傾きがほぼ一定であることがわかる。そこで、放熱性能を示す指標として、熱抵抗と熱コンダクタンスを用いる。熱抵抗は熱の伝えにくさを表す値で、この値が低いほど熱を伝えやすく放熱性能が良いことを表す。本研究で得た数値から、熱抵抗を求める。熱抵抗は次式により導出する。

$$R = \frac{T_f - T_w}{Q}$$

$R$ は熱抵抗[K/W]、 $Q$ は熱量[W]、 $T_f$ はフィン底部の温度[K]、 $T_w$ は水温[K]である。熱抵抗とは温度の伝えにくさを表す値で、単位時間あたりに加えられた熱量により上昇する温度の変化量を表している。つまり、熱抵抗の値が小さいほど放熱性能は良好であることを意味している。また、もう一つの指標として、熱コンダクタンスを用いる。放熱性能が高くなるほど、熱コンダクタンスを増加することとなる。

$$C = \frac{1}{R}$$

ここでは、熱抵抗と熱コンダクタンスを基準として放熱性能について比較する。

図 2-3-2-4 に、矩形フィンの場合の流速と熱コンダクタンスの関係を示す。流速が上がるにつれて熱コンダクタンスの値は上昇し、放熱性能が高くなること、フィンピッチが 1.0mm の場合が、最も放熱性能が高いことがわかる。また、図 2-3-2-5 に、流速を一定とした場合のフィンピッチと熱コンダクタンスの関係を示す。この図より、フィンピッチが 1.0mm の場合に熱コンダクタンスが最も高くなることがわかる。図 2-3-2-7 には、流速と圧力損失の関係を示す。フィンピッチが小さくなるほど、流速が大きくなるほど圧力損失が大きくなることがわかる。

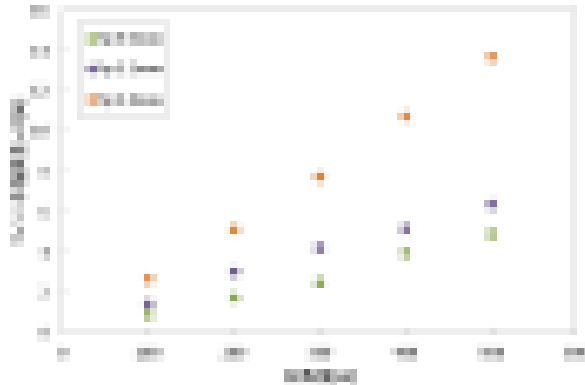


図 2-3-2-3

伝熱量とフィン底部-水の温度差の関係

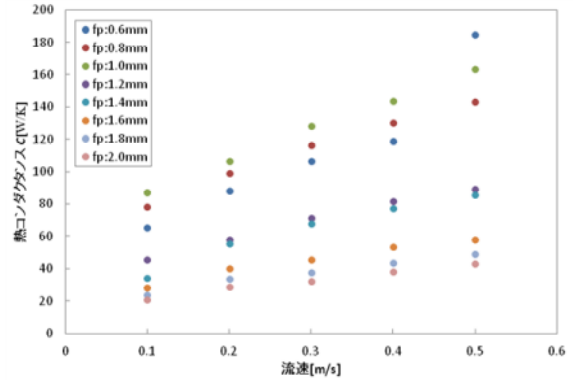


図 2-3-2-4

流速と熱コンダクタンスの関係

以上の結果から、最適な形状を検討する。フィンを選定するには放熱性能と圧力損失の両方を考慮しなければならない。そこで、ポンプ動力を用いて評価する。ポンプ動力は次式で表される。

$$P = Q \times \Delta p$$

ポンプ動力は、流量  $Q$  と圧力損失  $\Delta p$  の積で表すことができ、流体を流動させるために必要な動力であり、同一のポンプ動力であっても、圧力損失が小さければ多くの流量を流すことができる。

図 2-3-2-7 に、ポンプ動力と熱コンダクタンスの関係を示す。図より、同じポンプ動力において比較すると、フィンピッチ 1.0mm のものが最も放熱が良いことがわかる。つまり、矩形フィンにおいて本実験の範囲内で、最適なフィンピッチは 1.0mm であることがわかった。

同様な検討を、数値解析を用いて直形フィンについて行った。図 2-3-2-8 に、ポンプ動力と熱コンダクタンスの関係を示す。図より、直形フィンの場合には、流動抵抗が小さいために、圧力損失が小さく、ポンプ動力が小さくなっている。また、矩形フィンとは異なり、フィンピッチが小さいほど、同じポンプ動力における熱コンダクタンスが大きく、放熱性能が高くなることがわかる。

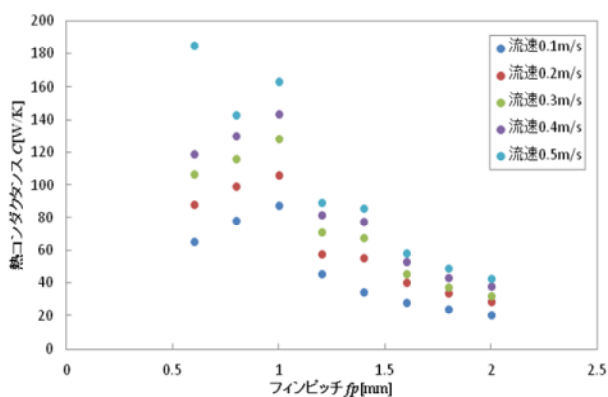


図 2-3-2-5

フィンピッチと熱コンダクタンスの関係

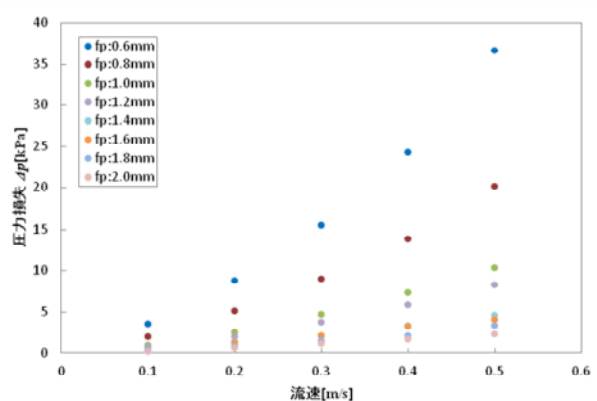


図 2-3-2-6

流速と圧力損失の関係

以上の結果から、矩形フィンと直形フィンの比較を行った。図 2-3-2-8・9 に、ポンプ動力を 0.05W で一定としたときの、直形フィンと矩形フィンのフィンピッチと熱コンダクタンスの関係を示す。この図より、フィンピッチが 1.0mm の場合に、直形フィンと比較して、2 倍程度の放熱性能

があることがわかる。また、フィンピッチが小さい領域では、矩形フィンより直形フィンのほうが、放熱性能が高く、フィンピッチが 1.5mm 以上の領域では、矩形フィンと直形フィンに大きな違いがないことがわかる。

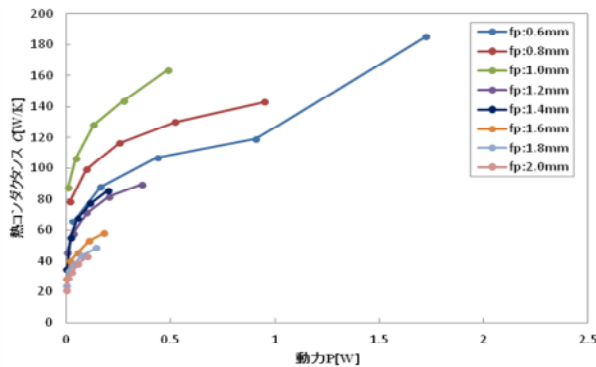


図 2-3-2-7

図ポンプ動力と熱コンダクタンスの関係

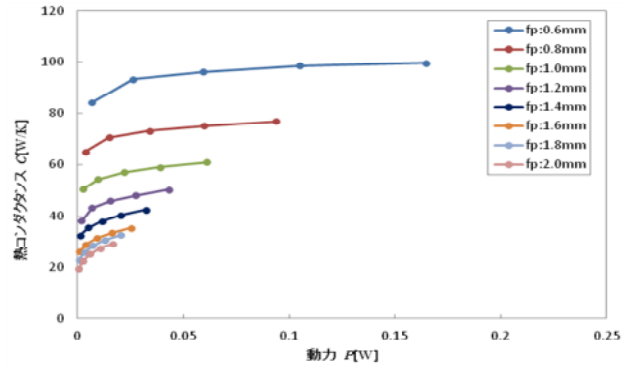


図 2-3-2-8

直形フィンのポンプ動力と熱コンダクタンスの関係

(6) まとめ

本検討では、矩形型マイクロピッチフィンの放熱性能について、フィンピッチ、流量、熱量を変化させて実験を行うとともに、直形フィンと同一のポンプ動力の条件で比較検討し、本実験の範囲において、以下の結果が得られた。

1. 矩形フィンの場合、フィンピッチが 1.0mm 程度の条件が最も放熱性能が優れている。
2. フィンピッチが 1.0mm 程度以下の条件では、同一のポンプ動力の条件では、直形フィンと比較して矩形フィンが 2 倍程度、放熱性能が高い。
3. フィンピッチが 0.5mm 程度以下の条件では、同一のポンプ動力の条件では、矩形フィンより直形フィンの方が放熱性能が高い。
4. フィンピッチが 1.5mm 以上の条件では、矩形フィンと直形フィンの違いは小さい。

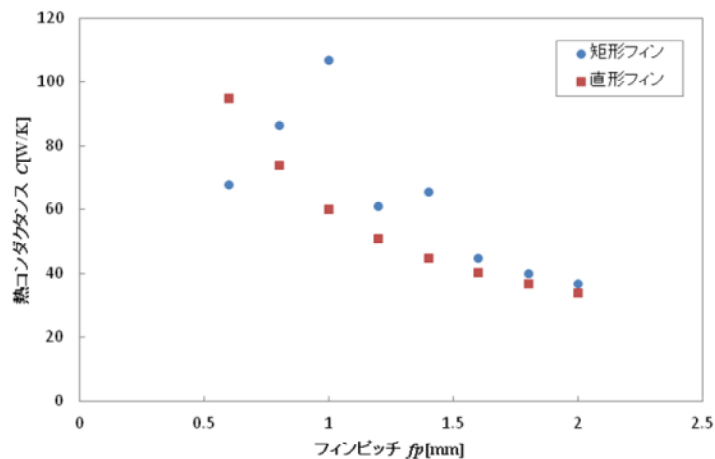


図 2-3-2-10 直形フィンと矩形フィンの比較

フィン性能評価 (中村製作所)

(1) 目的

青山学院様のデータとの相関を確実に取る事で、熱解析力を身に付ける、また客先への提案として、裏づけあるデータが確立を目指す。



24年度の解析に加え、本年度はフィンピッチの異なる三角波形状ヒートシンクの冷却性能を測定も実施。フィンピッチ、流量等、パラメータを振り実験し、特性を知る。

冷却性能を評価するうえで熱量 1W あたりの上昇温度の割合を表す熱抵抗（単位：K/W または°C/W）を算出し、同時に圧力損失を測定する。このデータから冷却性能を満足するに相応しいものを選定する際のデータベース作成を目的とする。

(2) 実験部及び実験方法の概要

三角波形状ヒートシンクの冷却性能を測定するために、流体が漏れ出さないようにカバーを取り付ける。そして、ヒートシンク底面にヒーターを貼り付け熱を与える。その状態でフィンの隙間に流体（実験では不凍液：LLC50wt%）を流し込み、ヒートシンク底面に埋め込んだ温度センサで上昇温度を採取する。図 2-3-2-11

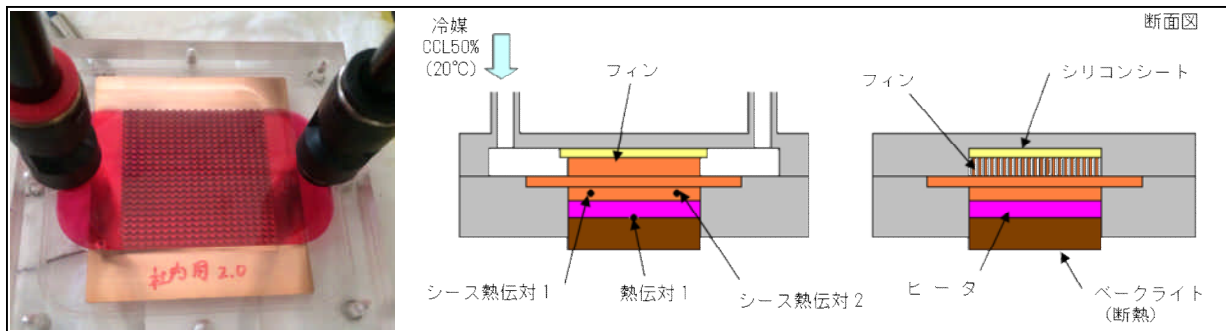
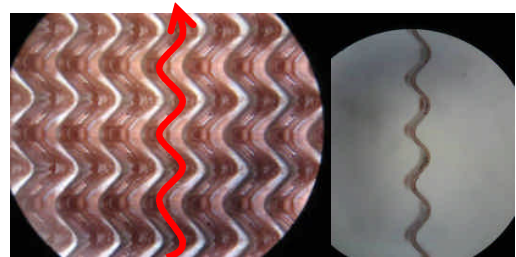


図 2-3-2-11

(4) 実験

- ①流し込む不凍液の温度を一定としたいため、恒温槽を用意する。恒温槽はチラーで冷却する。
- ②ヒートシンク底面にヒーターを取り付ける。ヒートシンクとヒーターの密着性を高めるために、コスモサーマルグリス SF401 を塗る。
- ③温度センサを差し込み、不凍液を流すためにヒートシンクとカバーを取り付ける。
- ④ヒーター1枚当たりの定格である 100W を与える。



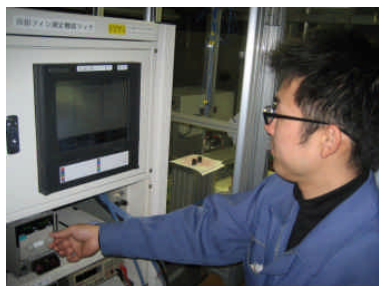
三角波形状と流路 図 2-3-2-11

ヒーターは2枚取り付けてあるため、合計で約 200W を与えていることとなる。

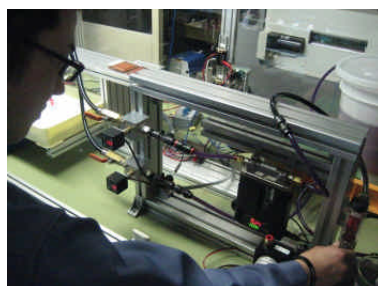
- ⑤不凍液を流し込み測定をする。

流量は 500, 700, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 [mL/min] とした。

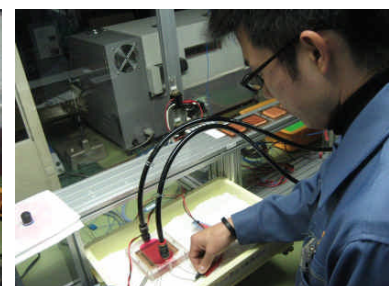
- ⑥同様の実験をフィンピッチ 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0 [mm] に対して行った。



温度記録レコーダー



流量計



試験部のセッティング

図 2-3-2-12

## (5) 実験結果

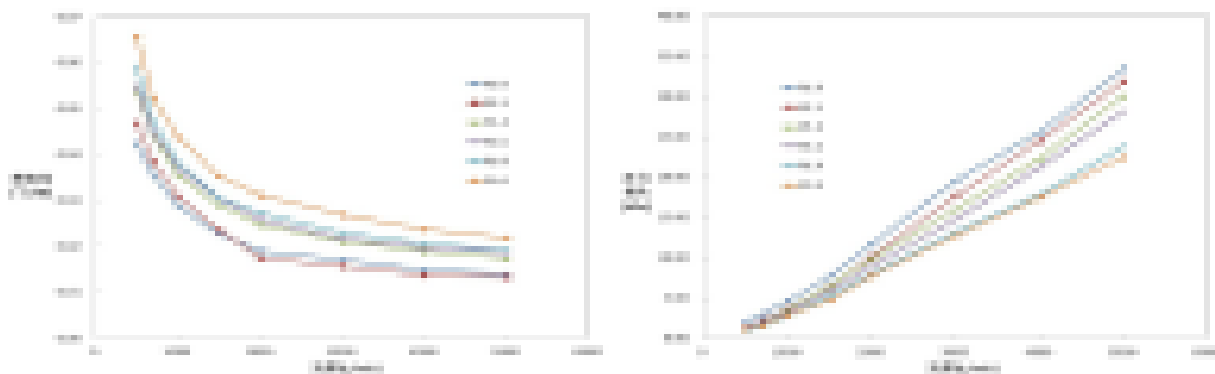


表 2-3-2-12

表 2-3-2-13

実験を行った際に得られた熱抵抗[°C/W]のデータから、熱抵抗と流量の相関を、図 2-3-2-12 グラフにて紹介する。

②同様に圧力損失[kPa]のデータよりグラフ、図 2-3-2-13 をまとめた。

### (6) 考察

基本的にどの流量でもフィンピッチが狭くなるにつれて熱抵抗が小さくなるため、フィンピッチが狭いほど冷却性能に優れると言える。

流量 2000ml/min 以上でフィンピッチ 1.0 mm と 1.2 mm で逆転してしまっているが、熱抵抗で 1000 分の 1 や 2 の値なので、測定誤差の範囲と思える。また、流量が上がると各フィンピッチの熱抵抗の差が縮まる表 2-3-2-4 ある流量以上からはフィンピッチの影響が小さくなることが分かる。

反対のことを考えると、流量が少ない状態ではフィンピッチを細かくすることで冷却性能を上げることが可能になると言える。

圧力損失に関して見ると、フィンピッチが狭くなるにつれて圧力損失が大きくなることが分かる。流量が多くなるにつれてその差が大きくなることも分かる。したがって、ポンプの性能に制約がある場合はフィンピッチを細かくすればいいという訳でもないことが言える。

24 年度測定を行った矩形波型フィンと今回測定を行った三角波型フィンと比較し、三角波型フィンは矩形フィンより更に熱抵抗値が小さい事が分かった、当初矩形の方が乱流効果による特性アップが期待出来るとしていたが、実際は三角波型フィンの方が、高い性能を示した。

これは、ひとつのデータベースとして大きな収穫であった、今後は、さらにデータ収集を進め、この技術の可能性を追求したい。

## 2-3-3 加工性評価実験 (長野県工業技術総合センター)

### (1) 加工方向の影響評価

本事業で研究するヒートシンク用フィンは、鋭利な切れ刃を持つ超合金製のパンチを用いて 2 次元切削のように切り込んで成形する。フィン形成に要する加工力については、前年度に計測した結果より、C1020 と A1050 について把握できた。ただし、この評価は被削材の圧延方向については考慮せずに行ったため、事業化に向けてはその影響について定量的な評価が必要である。

そこで、フィン形成に少なからず影響を及ぼすと考えられる加工方向の影響評価を目的に、C1020 と A1050 について圧延方向に対して平行方向と直交方向での加工力と表面粗さを測定した。実験には図 2-3-3-1 に示したように、フライス盤に圧電型切削動力計を設置して垂直方向にパンチを送って加工力を測定した。加工力は、デジタルオシロスコープで記録した。



表 2-3-3-1 に加工条件を示す。

表 2-3-3-1 加工条件

|      |           |
|------|-----------|
| 送り速度 | 150mm/min |
| 切込み量 | 0.15mm    |
| 加工深さ | 約 15mm    |

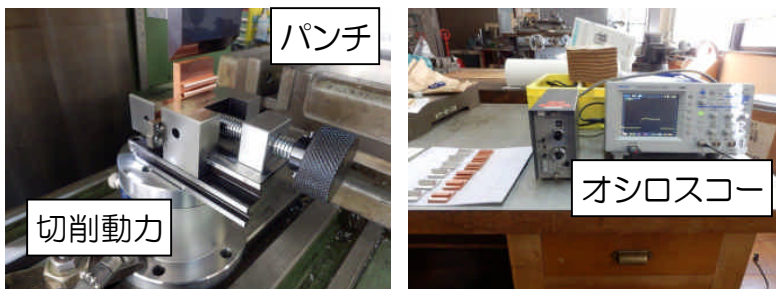


図 2-3-3-1 加工実験の様子

図 2-3-3-1 計測システム

C1020 の結果について、図 2-3-3-2 (a)に平行方向、(b)に直交方向での加工力を示す。測定サンプルを 3 個で計測した結果、約 2000N 程度の加工力が発生した。圧延方向による加工力の差はなく、安定して加工できている。

次に A1050 についても銅と同様に計測した。加工に伴い加工力も上昇している。平均すると約 1400N 程度の加工力である。直交方向はばらつきがあるものの、加工力は約 1000N~1400N と、平行方向よりも低い値を示し、加工力の上昇も確認されなかった。

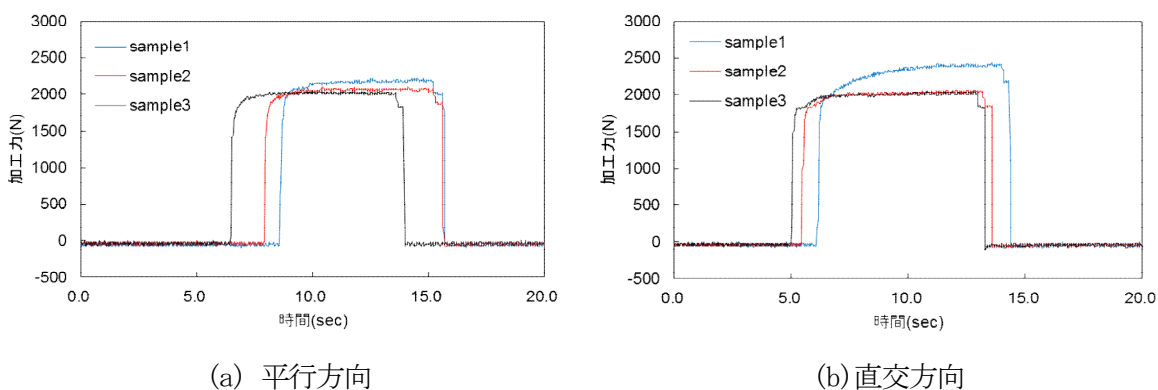


図 2-3-3-2 C1020 の加工力

次に加工方向とフィンの表面粗さについて、C1020 はフィン表面を、A1050 はベース表面を表面粗さ計で計測して評価している。

加工方向の比較では、両サンプルともに直交方向の粗さが小さい結果となった。また、材料の比較では C1020 の方が A1050 よりも小さい値が得られた。これは、プローブの走査方向が圧延方向と平行になるため、その影響がそのまま出た結果と言える。したがって、表面粗さの数値的にも加工方向の影響は無視できるレベルであると考ええる。

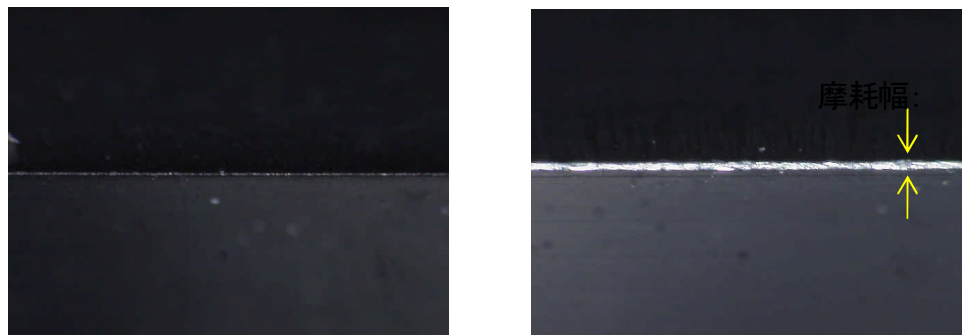
## (2) 金型 (パンチ) の寿命評価

金型の寿命判断はコストに直結する重要な要因である。そこで加工力測定による寿命評価方法を検討した。これは、刃先が摩耗したパンチでは、切り込む際の加工力が增大すると考えたからである。図 2-3-3-6 (a)に鋭利なパンチを、(b)に研磨で刃先を丸めたパンチの、刃先正面の写真を示す。なお、施した摩耗幅は約 38  $\mu\text{m}$  である。

C1020 に鋭利なパンチと摩耗させたパンチそれぞれでの加工力を 3 回ずつ測定した結果を、図 2-3-3-7 に示す。鋭利なパンチの平均加工力は 1966N、摩耗させたパンチは 2316N と、約 18%増加した。また、摩耗させたパンチはサンプル間のばらつきも大きい。

以上、明確な加工力増加が確認できたことから、パンチもしくはベース部に力センサ (ロードセ

ル)を組み込んで加工力をモニタリングすることで、寿命判断が可能である。



(a) 鋭利なパンチ

(b) 摩耗させたパンチ

図 2-3-3-3 パンチ刃先の写真 (150 倍)

### (3) まとめ

加工力について、C1020 は加工方向による差は生じないことがわかった。カール形状もほぼ同じであることから、方向性の影響は無視できるレベルと思われる。また、A1050 については圧延方向（結晶組織）の影響が大きいことがわかった。

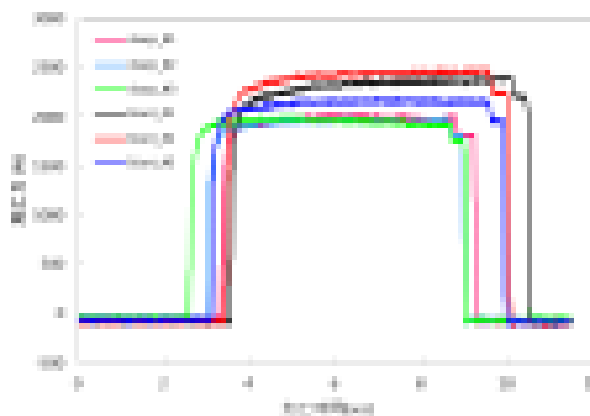


図 2-3-3-4 パンチの状態による加工力

## 2-4 シミュレーションソフトの研究、データベースの整備

(実施：中村製作所株式会社、長野県工業技術総合センター)

ヒートシンク形状の加工シミュレーションを行う切削シミュレーションソフト Adbant Edge の整合性を課題に研究し、上記 1-3-1、1-3-2 及び 1-3-3 で開発したノウハウ等をデータベース化し、事業化の際に設計・試作・評価等最適化が行えるように、技能のデジタル化、シミュレーション、金型の知能化、及び原価まで含めた情報統合化を図る。

### 2-4-1 シミュレーションソフトの研究、データベースの整備

(長野県工業技術総合センター)

#### (1) 材料試験

解析精度を向上させるためには、正確な材料データを入力することが重要であるため、材料試験を実施した。また、それらのデータベースを構築することにより、他の実験や解析にも利用できる。昨年度は、圧延材である A1050 と C1020 について、圧延方向と平行方向に荷重を負荷して試験した。一般に圧延材の強度特性には異方性があるため、本年度は圧延方向と直角方向の強度特性を測定し、昨年度のデータと比較した。また、引張速度を変化させひずみ速度依存性を確認した。具体的には、圧延方向と直角方向に引張試験片を切り出し、引張試験を実施した。ひずみ-変形抵抗曲線の結果と、引張強さ、伸びの結果を図 2-4-1 に示す。

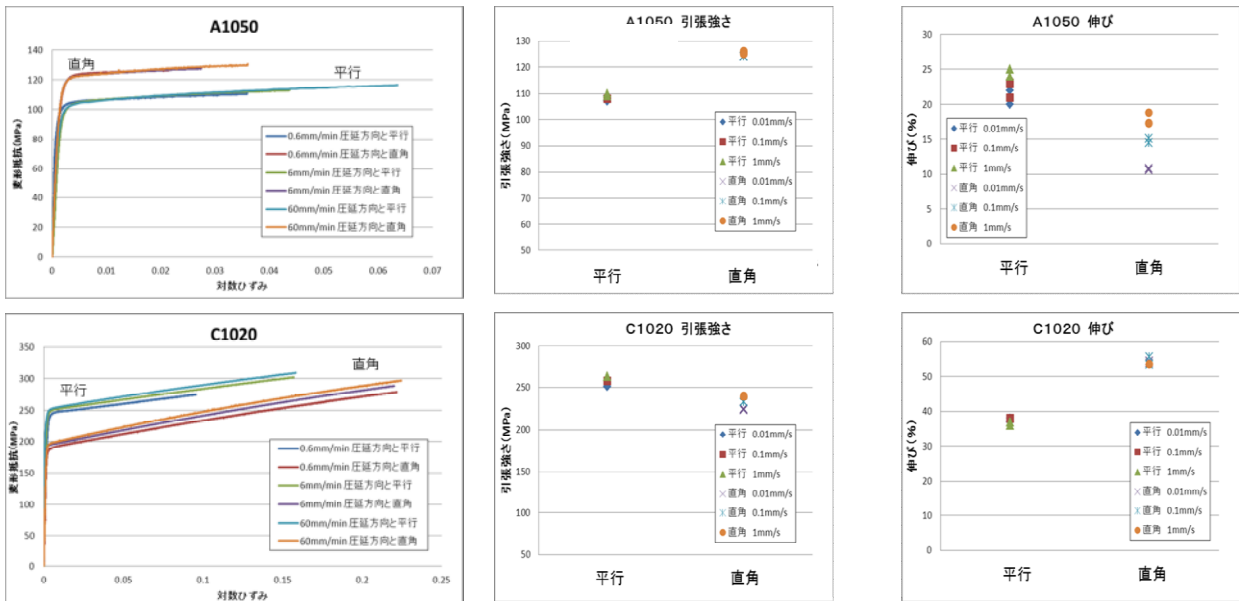


図 2-4-1 引張試験結果（ひずみ-変形抵抗曲線）及び引っ張り試験結果

A1050 では直角方向が平行方向と比較して変形抵抗が高く、それとは逆に、C1020 では直角方向が平行方向と比較して変形抵抗が低い。いずれも 2 割程度、変形抵抗が異なる。また、引張速度による変化では、A1050 ではあまり変化ないが、C1020 では引張速度が大きいほど変形抵抗が少し高い。引張試験機では引張速度をあまり上げることができないため、本実験では最高で 60mm/min (1mm/s) とした。これは、一般の切削速度と比較すると極めて遅い。従って、実際の切削と比較することはできないが、C1020 は A1050 と比較して、引張速度の依存性が高いことが分かる。即ち、C1020 は A1050 と比較して、切削速度が高いほど切削力が高くなる傾向が強いことが分かる。また、これらのデータは切削シミュレーション等の解析に役立てることができる。引張強さおよび伸びでは、変形抵抗と同傾向の結果が得られた。即ち、変形抵抗が高いほど引張強さも高い。ただし、A1050 の伸びは引張速度の影響が強く、速度が速いほど伸びる傾向である。

## (2) 成形シミュレーション

昨年度は DEFORM による切削解析を行い、解析可能であることを確認した。しかし、実際のフィン形状とは大きく異なることも分かった。引張試験で得られる

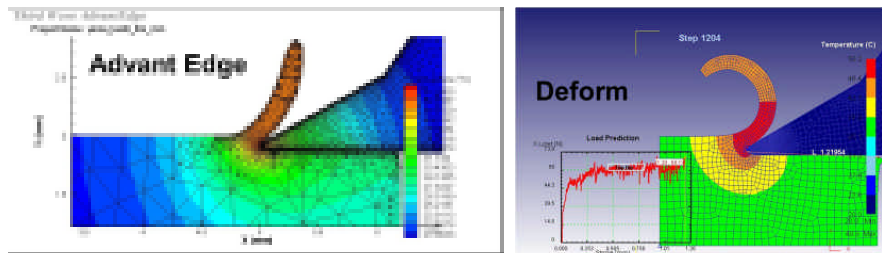


図 2-4-1 Deform、AdvantEdge の比較

材料データは、実際の切削と比較して、ひずみ速度の極めて遅い領域におけるデータである。従って、実際の切削現象に材料データが合致せず、解析結果の精度を低くしている可能性がある。

そこで、材料データを意図的に大きく変化させて解析を実施したが、フィン形状（切り屑形状）にほとんど差は出なかった。高速領域での材料データを得るためには、高速引張試験機が必要だが、研究メンバーの中で所有している機関は無いため試験できていない。本年度は Advant Edge の有用性を検討するため、DEFORM と解析結果を比較した。

結果を図 2-4-1 と表 2-4-1 に示す。

| 切削条件  |         | 結果          |             |        |
|-------|---------|-------------|-------------|--------|
| 材料データ | C1020   |             | Advant Edge | DEFORM |
| 切り込み  | 0.15mm  | 切削力(主分力)(N) | 100         | 60     |
| 加工速度  | 100mm/s | 材料温度(°C)    | 40          | 50     |
|       |         | フィン形状R      | 大           | 小      |

表 2-4-1 Deform、AdvantEdge の比較

切削力は、Deform の結果が実験と近いが、フィン形状は Advant Edge の結果が実験と近い。材料温度は測定していないが、実験では加工後に触って少し熱い程度なので、数十°Cの上昇と考えられ、その点で解析結果は実現象に近い。

### (3) 今後の課題

解析結果と実験結果でフィン形状の整合が得られていないため、フィン形状予測を目的とした解析はあまり利用できないが、切削力や温度においては、有益な情報が得られると考える。切削力や温度は、工具設計、工具寿命予測、工具材質選定等に活かすことができる。現在は低ひずみ速度における材料データしか得られていないが、今後は実現象に合致する高いひずみ速度の材料データ取得が必要である。

## 2-4-2 加工メカニズムの解析

(中村製作所株式会社)

評価装置を用いた成形加工とシミュレーションによる解析を更に進め、パラメータを振り、解析精度を上げる。同時にシミュレーションソフトの有効性の検証と制度アップを実施している。

ヒートシンク形状の加工シミュレーションを行う切削シミュレーションソフト Advant Edge の整合性を課題に研究した。

24 年度はフィンの形状が実際形状に対し大きな差異となっていた。25 年度は実際形状に近付ける為の研究を実施した。

### (1) 結果

被削材メッシングによるフィン形状の変化について研究(切削条件)材料 A11100 速度 1.2m/min 結果メッシュによる変化は無い。

切削シミュレーションソフト Advant Edge による材料データの数値について、差異を埋める対策として意図的以下の特性を変化させている。変形抵抗、熱軟化特性、ひずみ速度特性、(図 2-4-2-1 左)

摩擦特性、(図 2-4-2-1 右)についても同様に意図的にパラメータを振って解析を実施している、しかしながら解析形状における変化を見る事が出来なかった。

また、長野県工業技術総合センター所有鍛造シミュレーションソフト DEFORM との比較を実施 DEFORM と Advant Edge について、両ソフト共に当加工における解は一致しない事が判明した。

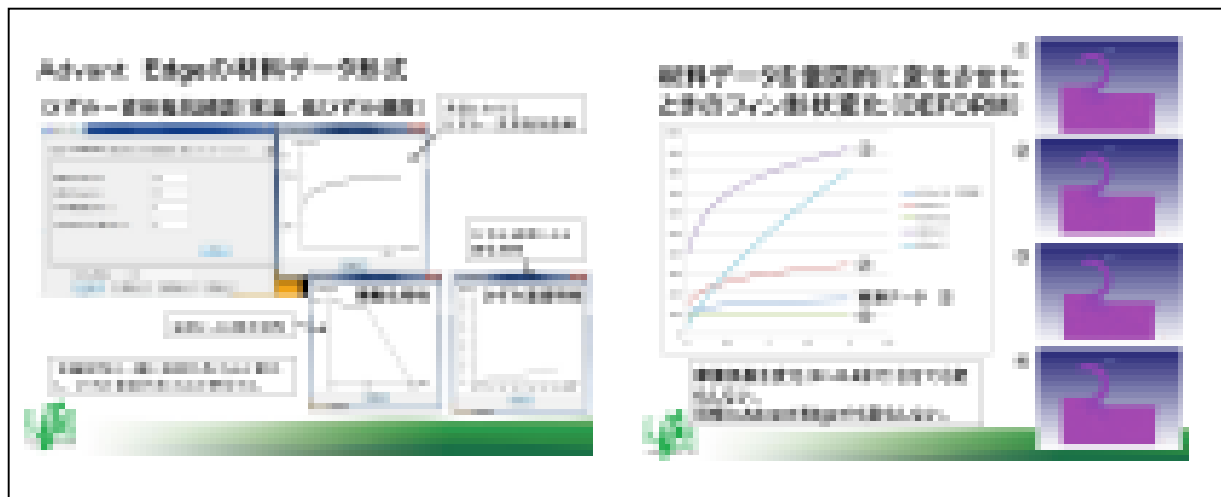


図 2-4-2-1

## (2) まとめ

シミュレーションソフト Advant Edge による解析においては、切削力については計算が可能である、フィン形状の解析予測については意図的に大きく加工速度を速めた場合にのみ実際形状に近付く事が分かった。(図 2-4-2-2)

しかしながら、その速度は 1000~4000m/min と極端に早い(実際速度 1.2m/min) 条件下である。

工具形状など変えたときの、切り屑形状変化、切削力変化、温度変化などの傾向を検証し、今後の工具開発などに利用する方法が実用的。ソフトウェアに

おける研究では本ソフトが非公開のブラックボックスであった事で更なる研究は出来なかった。

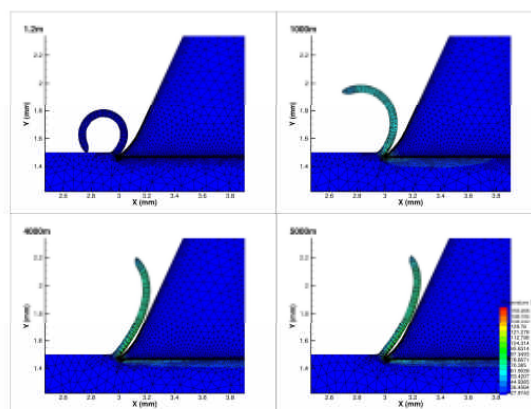


図 2-4-2-2

## 2-4-3 データベースの整備

上記 1-3-1、1-3-2 及び 1-3-3 で開発したノウハウ等をデータベース化し、事業化の際に設計・試作・評価等最適化が行えるように、技能のデジタル化、シミュレーション、金型の知能化、及び原価まで含めた情報統合化を図っている。

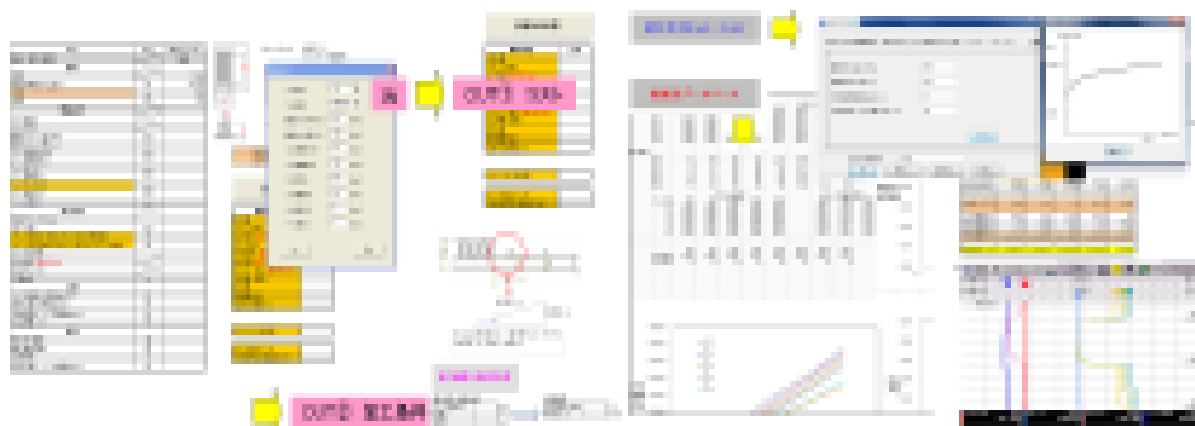


図 2-4-2-1

### (1) 結果

エクセルにより、IGBT ヒートシンクの統合計算ソフトを作成した。対話式によるダイアログボックスにて案件ごと必要なパラメータを入力するとした。答えとして必要な素材厚、取り個数、材料価格、プレスコスト、洗浄費、商品価格の算出を可能とした。図 2-4-2-1

また、技術的サポートとして機械側条件の計算、データベース化された情報にも同一ソフトからの引き出しを可能にしている。

## 第3章 全体総括

本プロジェクトでは4機関が参画して相互に研究開発を分担し良好に進めた、進捗状況も予定通りであり、今後は更に具体的な結果が期待出来るようである。

川下メーカー及び他社からのマーケット情報を取りながら、対応に万全を期したい。最も過酷な使用条件での評価も早期にクリアーし、一刻も早く事業化結び付けたい。

また、上記にて開発されたノウハウにてデータベース化された情報を活用する事で、拡販活動でのプレゼン資料、また設計試作評価等に活用出来るよう、更にデータベースの整備を行い、自動車の急速な高性能化に伴い、発熱量が大幅増加する I G B T用冷却機構のニーズに答えたい。

これらの要求への 1 つの答えがこの波フィンである。波形状のヒートシンクを最適化し、ユーザーの求める仕様（流量・圧力損失・熱抵抗）に対応する。

勿論この技術を使い、従前同様アルミのヒートシンクも可能であり、波形フィンがこの性能アップにも応えられる事は云うまでも無い。

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」

**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。