

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「高速双ロール式縦型鋳造法による難加工  
性高機能薄板の革新的製造技術の確立」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 経済産業省 関東経済産業局

委託先 公益財団法人 群馬県産業支援機構

# 目 次

## 第 1 章 研究開発の概要

1	研究開発の背景・研究目的	1
2	研究体制 (研究組織・管理体制, 研究者氏名, 協力者)	2
3	成果の概要	7
4	専門用語等の解説	10
5	当該研究開発の連絡窓口	10

## 第 2 章 本論 (成果概要)

## 第 3 章 総括

1	研究開発成果	15
2	研究開発後の課題および事業化	18

# 第 1 章 研究開発の概要

## 1 研究開発の背景・研究目的

ノートパソコンや携帯電話の CPU のヒートスプレッダ（放熱板）は、下図に示すように半導体チップから発生した熱を逃がす厚さ 1mm 以下の薄板で材質にはアルミニウム合金や銅合金が使用されている。近年、CPU の性能向上に伴い発熱量が増加し、アルミニウム合金では冷却性を満足せず、銅合金では重いことが問題にされている。電気自動車のインバータ電源デバイスの IGBT のベースプレート（基板）も銅合金に代わる高熱伝導・低熱膨張で軽量かつ高剛性の材質が求められるようになった。パソコンや電気自動車に使用される金属回路基板のベースプレートやコアにも同様の問題が起きている。そこで Al 合金に炭化ケイ素（SiC）の粉末を添加した高熱伝導（放熱性に優れ）低熱膨張，高剛性でかつ軽量の Al-SiCp 複合材板の使用が世界的に望まれるようになってきている。しかし、鋳造後薄板への加工工程が多いことに起因し相当高価格になり、その工程数を削減できる新たな薄板鋳造法が熱望されている。

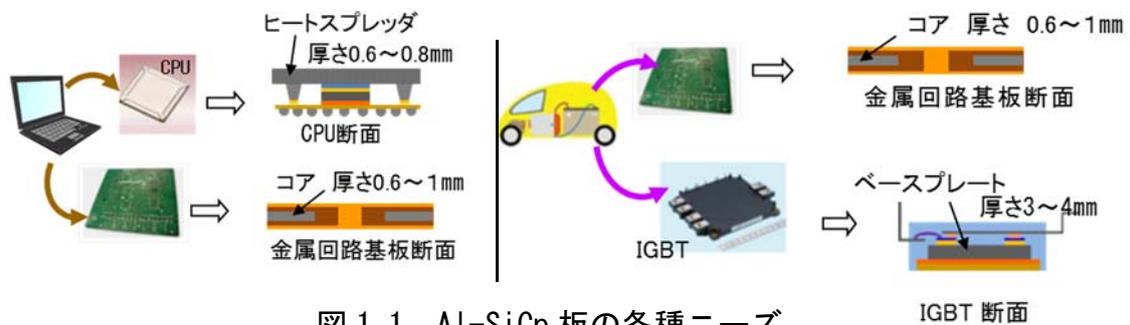
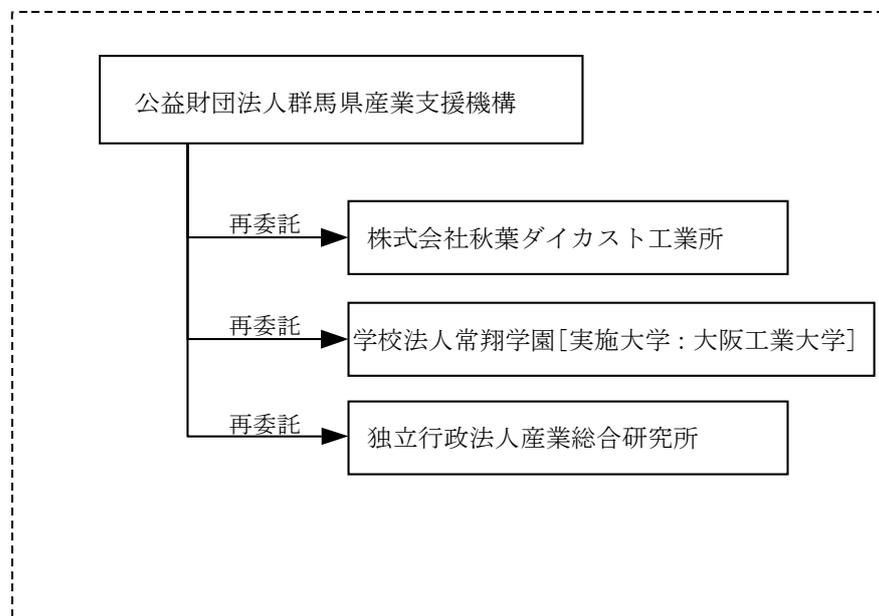


図 1.1 Al-SiCp 板の各種ニーズ

## 2 研究実施体制

### (1) 研究組織及び管理体制

#### ①研究組織（全体）



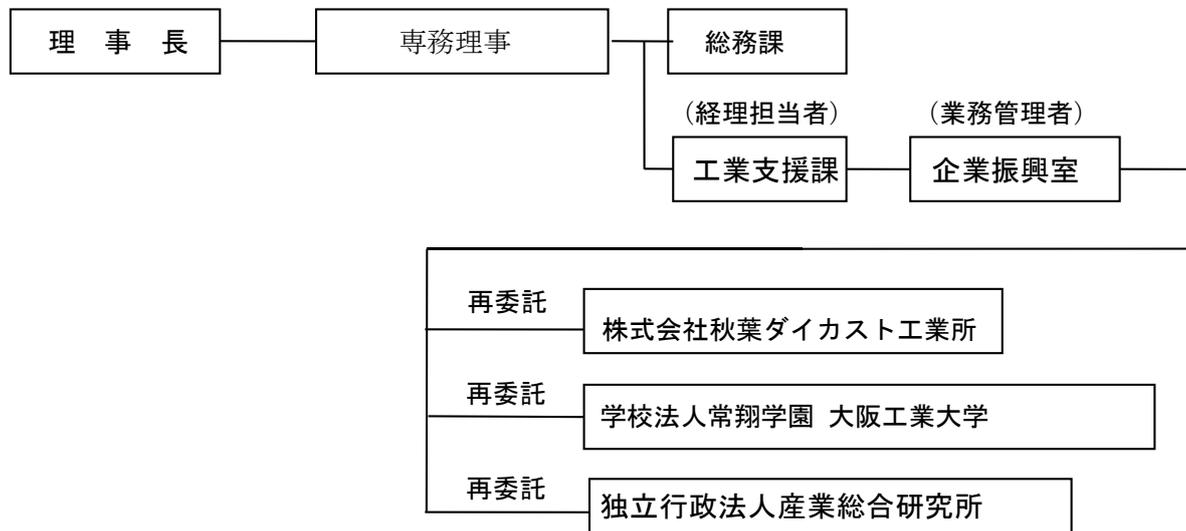
総括研究代表者（P L）  
株式会社秋葉ダイカスト工業所  
代表取締役社長 日下田 雅男

副総括研究代表者（S L）  
学校法人常翔学園  
大阪工業大学 工学部 教授 羽賀 俊雄

(2) 管理体制

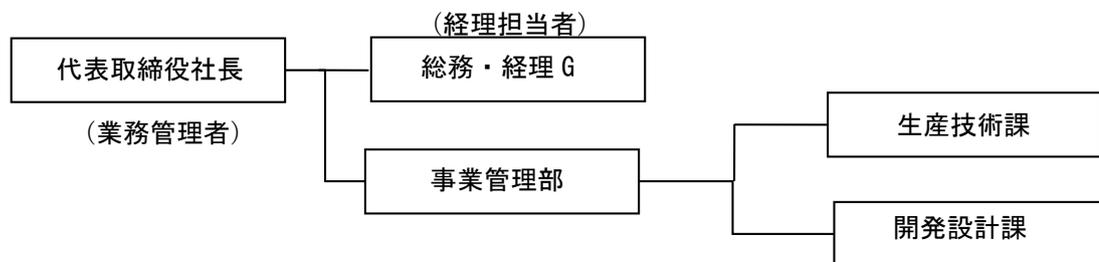
① 事業管理機関

[公益財団法人群馬県産業支援機構]

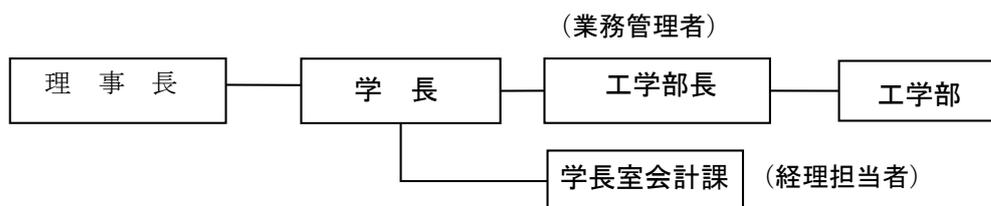


② 再委託先

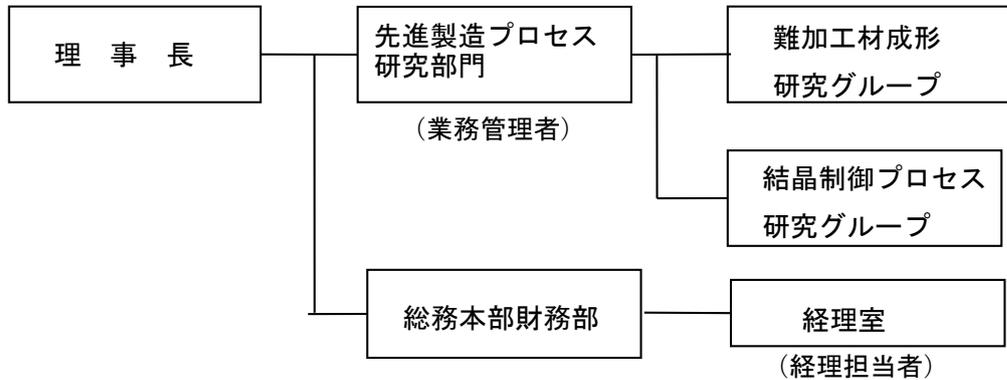
[株式会社秋葉ダイカスト工業所]



[学校法人常翔学園大阪工業大学]



[独立行政法人産業技術総合研究所]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人群馬県産業支援機構

(管理員)

氏名	所属・役職
藤村 聡	工業支援課 企業振興室長

【再委託先】

(研究員)

株式会社秋葉ダイカスト工業所

氏名	所属・役職
日下田 雅男	代表取締役社長
樺澤 敦志	事業管理部 生産技術課 課員
須田 直人	事業管理部 開発設計課 課員

学校法人常翔学園大阪工業大学

氏名	所属・役職
羽賀 俊雄	大阪工業大学 工学部 教授
越智 秀	大阪工業大学 工学部 技師

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職
松崎 邦男	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形研究グループ リーダー
花田幸太郎	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形研究グループ 主任研究員
村上 敬	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形研究グループ 主任研究員
永井 秀明	先進製造プロセス研究部門 結晶制御プロセス研究グループ 主任研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人群馬県産業支援機構

(経理担当者) 工業支援課 富山 勝敏  
(業務管理者) 工業支援課 企業振興室長 藤村 聡

(再委託先)

株式会社秋葉ダイカスト工業所

(経理担当者) 総務・経理 G 主任 小川 道範  
(業務管理者) 代表取締役社長 日下田 雅男

学校法人常翔学園大阪工業大学

(経理担当者) 大阪工業大学 工学部事務室長 大島 新司  
(業務管理者) 大阪工業大学 工学部長 西村 泰志

独立行政法人産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務本部財務部 経理室室長 山口 洋二  
(業務管理者) 先進製造プロセス研究部門 部門長 淡野 正信

(4) 他からの指導・協力者

研究推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
日下田 雅男	株式会社秋葉ダイカスト工業所 代表取締役社長	PL
羽賀 俊雄	大阪工業大学 工学部 教授	SL
松崎 邦男	独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 難加工材成形研究グループリーダー	
藤村 聡	公益財団法人群馬県産業支援機構 工業支援課 企業振興室長	
石井 守	株式会社太平洋セメント CE 研究開発部複合材料チームリーダー	アドバイザー
川口 将徳	旭硝子株式会社 電子材料事業部 主幹技師	アドバイザー

### 3 成果の概要

#### (1) Al-SiCp 複合材料とその特徴

Al-SiCp 複合材とは、Al 合金に炭化ケイ素の粉末、つまり SiCp を添加した複合材料である。Al-SiCp 複合材は軽く、放熱性が優れ、熱変形せず、高剛性という特徴を持つ。SiCp の量が増すほど熱伝導率とヤング率は大きくなり、線膨張係数は小さくなる。ヒートスプレッダには 20vol%以上、IGBT のベースプレートには 30vol%以上が適する。添加量は一般に体積比 (vol%) で表す。Al-20vol%SiCp は SiCp (SiC 粉末) が体積比で 20%含まれていることを示す。

#### (2) 本プロジェクトの内容 表 1.1 Al-SiCp の物性

物 性	銅合金	アルミ合金	Al-20vol%SiCp 複合材
比重	8.9	2.7	2.8
熱伝導率 W/mK	390	130	200
線膨張係数 $10^{-6}/K$	16.8	23.6	14.0
ヤング率 $kN/mm^2$	117	70	130

本プロジェクトは下記の3つの内容より成り立つ。

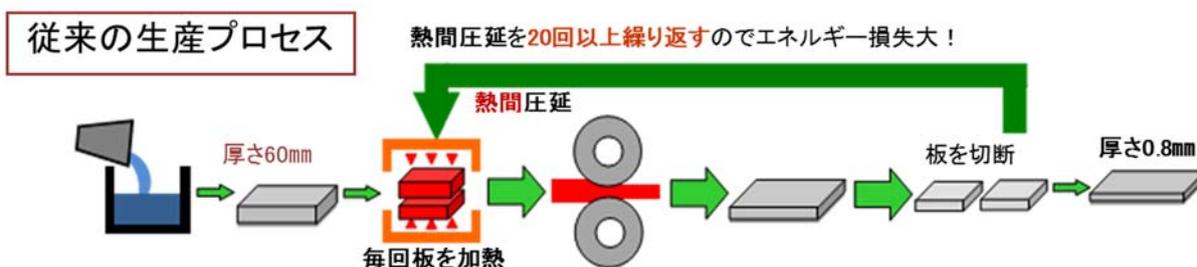
#### ①プロジェクト1：低価格・高機能 Al-SiCp 複合材板の作製法 (低価格化問題の解決法)

##### 低価格化の達成方法

本提案の低価格を達成するための3つの方法を次に示す。

- ・高速双ロール式縦型鋳造法による省工程（下図参照）。
- ・高生産性
- ・一般的なアルミニウム合金用の双ロール式鋳造機と比較して安価な高速双ロール式縦型鋳造機の使用

高速双ロール式縦型鋳造法は溶湯から直接厚さが3mm程度の薄板の作製が可能のため、現在の工程と比較すると省工程メリットがある。さらに高速双ロール式鋳造法による急凝固により材質が改善され冷間圧延（延性の改善）が可能になるが、熱間圧延時の加熱が必要でなくなるため、省エネルギーのメリットがある。受注から出荷までの時間も大幅に短縮できることも大きな利点である。



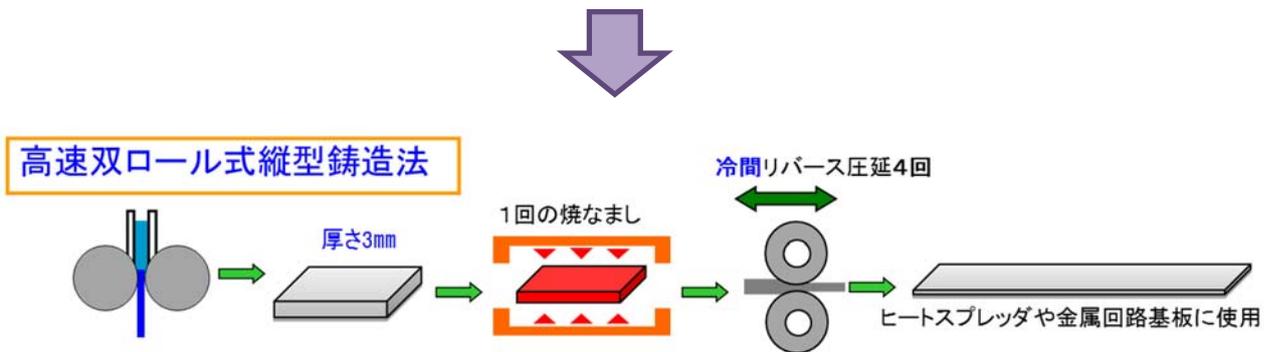


図 1.3 高速双ロール式鋳造法による Al-SiCp 板の作製の省工程化

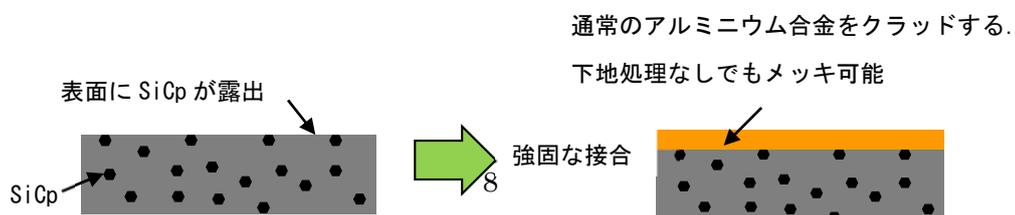
Al-SiCp の薄板を高速（高生産性）で鋳造するため、申請者らが開発した高冷却能を有する縦型高速双ロール式鋳造法を採用した。当初は銅ロールを使用した。消耗品であるロールの耐摩耗性（寿命）の向上と低コスト化を目指して高冷却能を有する軟鋼ロールを開発した。

高速双ロール式鋳造法において高速化を可能にした対策と効果を以下に示す。

- ・溶湯ヘッド：溶湯ヘッドにより溶湯とロールの接触状態が改善され熱伝達が良好になるので冷却能が向上する。
- ・離型剤を使用しない：離型剤は板のロールへの固着を防ぐために使用する。離型剤は溶湯とロール間の熱抵抗になるので、使用しないと熱伝達が良好になるので冷却能が向上する。
- ・Al-SiCp 合金では、SiC 粒子が板の表面にも存在するため、低荷重ではロールに固着しないことを発見した。

## ②プロジェクト 2：高次の発展レベルの提案として、メッキを可能とする機能付加シート材の作製

Al-SiCp 板の表面には SiCp 粒子が露出している。露出している SiCp は Al-SiCp 板とロールとの固着の防止に役立つ。一方でメッキを施し難く、下地処理が必要になる。そこで Al-SiCp 板の作製と同時にメッキ可能なアルミニウム合金をクラッド（接合）することで、工程数を増すことなく下地処理なしでメッキを可能にした。



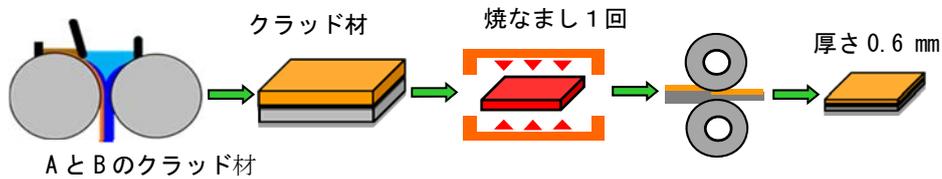


図 1.5 クラッド材用双ロール式鑄造法によるクラッド材の作製

### ③プロジェクト3：電気自動車等で使用する IGBT 用ベースプレートの半凝固3次元成形技術の確立

3次元形状の Al-SiCp 材は、IGBT のベースプレートなど広い範囲で需要がある。しかし高価であるため使用量は多くない。3次元形状品が高価である原因は主に下記の3つである。

- ・機械加工は刃物の摩耗が激しい
- ・ダイカストは、熱収縮で孔部で割れやすい
- ・熱間鍛造は、硬く不可能である。

上記の原因を解決して安価に Al-SiCp 材の3次元形状品を作製するために双ロール式鑄造で作製した板を使用して半凝固成形を行う。半凝固成形の利点を以下に示す。

- ・低荷重で立体成型が成形可能である。
- ・熱収縮量が小さいので収縮割れは起き難い。

双ロール式鑄造材は、急冷効果で半凝固状態の流動性が良い。

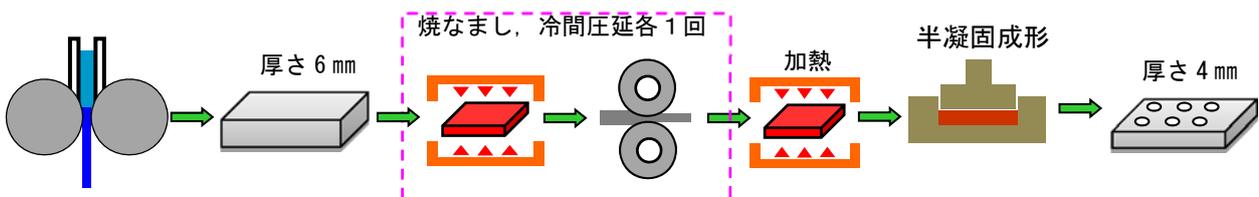


図 1.6 双ロール式鑄造板を使用した半凝固成型

#### 4 専門用語等の解説

専門用語	解 説
ヒートスプレッタ (放熱板)	コンピュータ内のCPUで発生する熱を効率的に放出するための金属板.
IGBT	入力部が MOS 構造で出力部がバイポーラ構造のパワー用の絶縁ゲートバイポーラトランジスタ
Al 基金属回路基板	プリント配線板の内層に Al 板を配置した実装部品の熱拡散を目的とした基板
冷却速度	凝固時に固液相線間を単位時間 (通常 1 秒間) に降下する温度
冷間圧延	室温で行う圧延. 熱間圧延: 再結晶温度以上 (Al 合金は通常 350~500℃) で行う圧延.

#### 5 当該研究開発の連絡窓口

〒371-0854

群馬県前橋市大渡町1-10-7 県公社総合ビル2階

公益財団法人群馬県産業支援機構

工業支援課

企業振興室長 藤村 聡

TEL:027-255-6601 FAX:027-255-6161

E-mail: torihiki@g-inf.or.jp

## 第2章 本論（成果概要）

項目	目標	達成度
① 高冷却能・低熱ひずみ特性を有するロールの開発		
①-1 銅合金ロールの評価	鑄造板の長手方向と幅方向の板厚偏差を0.2mm以下、ロール周速は30m/min以上	直径400mm、幅100mmのロールを作製した。量産時の1回の長さ8mの板を作製可能。幅方向板厚偏差0.2mm以下。長手方向板厚偏差0.4mm以下。ロール周速60m/minで板の作製が可能
①-2 軟鋼ロールの評価	鑄造板の長手方向と幅方向の板厚偏差を0.2mm以下、ロール周速は30m/min以上	直径400mm、幅100mmのロールを作製した。量産時の1回の長さ8mの板を作製可能。幅方向板厚偏差0.2mm以下。長手方向板厚偏差0.4mm以下。ロール周速30m/minで板の作製が可能
①-3 ロールクラウンの最適化	Al-SiCpに適したロールクラウンを調査する。評価は、圧延の難易とバリ量で行う。	計画時は、熱膨張によりロールが凸になり板厚分布が圧延に不適切な凹型になると予測していたが、新設計のロールが功を奏し、板厚分は平坦であることが判明

項目	目標	達成度
①-4 ロール面状態の最適化	角度 60 度の三角溝で深さ 0.1, 0.15, 0.2 mm, ロール周方向で平行およびクロスするもので調査する. 鋳造板を 0.6 mm まで圧延してエッジ以外のクラックで評価する	100% 角度 60 度の三角溝で深さが 0.2mm のものが適切であった. SiC 量は 30vol%のもののみ調査を行った
② SiCp 量が 35vol%以上におけるロール式鋳造条件とプロセスの確立		
	凝固時間を長くする操作を行いロール周速と凝固距離で最適条件を明らかにする。大阪工大で開発した異形双ロール式鋳造法を最適化しロールの基本特性を明らかにする。	Al-45vol%SiCp しか入手することができなかった。この材料は粘性が高くロールキャストは不可能であった（ロールを破損）。
③ ロール式鋳造材の半凝固成形用金型システムの確立		
	<u>実際に半凝固成形を行い、半凝固成形用金型システムの確立を目指す。材料の成形温度（固相率）、型温度、成形荷重をパラメータとして成形性を調査し、最適条件を求める。</u>	厚さ 5 mm 程度の Al-30vol%SiCp 材は、容易に切断できないこと、半凝固状態での取り扱いがマトリックスの流動性のために容易ではないことが判明した。そこで、厚板成形は、重力鋳造に切り替えた。その結果、目的の形状の板成形品を得ることができた。

項目	目標	達成度
<b>④ 特性評価</b>		
④-1 組織評価	ロール式鑄造条件ごとにSiCpの分布状態などを評価し、各特性との相関関係の明確化を行う	光学顕微鏡と電子顕微鏡(SEM)により鑄造まま材の組織を観察した
④-2 機械的特性評価	ロール式鑄造条件ごとに機械的性質を評価し、他の特性との相関関係の明確化を行う	鑄造材の室温での硬さおよび曲げ強度を調べた。鑄造材を圧延した試料についても調べた。

## 第3章 総括

### 1 研究開発成果

項目	目標	達成度
① 高冷却能・低熱ひずみ特性を有するロールの開発		
①-1 銅合金ロールの設計 ①-2 銅合金ロールの製作・評価	板に対するロール周速などの基本的な条件の影響とロールのクラウンやロール表面の板の状態への影響を調査し評価を行う。 鑄造板の長手方向と幅方向の板厚偏差を0.2mm以下、ロール周速は30m/min以上。	①-1 【平成24年度実施】100% ①-2 【平成24・25・26年度実施】100% 直径400mm、幅100及び200mmのロールを作製した。 量産時の1回の長さ8mの板を作製可能。 幅方向板厚偏差0.2mm以下。 ロール周速60m/minで板の作製が可能。
①-3 軟鋼ロールの設計 ①-4 軟鋼ロールの製作・評価	板に対するロール周速などの基本的な条件の影響とロールのクラウンやロール表面の板の状態への影響を調査し評価を行う 鑄造板の長手方向と幅方向の板厚偏差を0.2mm以下、ロール周速は30m/min以上。	①-3 【平成24年度実施】100% ①-4 【平成24・25・26年度実施】100% 直径400mm、幅100及び200mmのロールを作製した。 量産時の1回の長さ8mの板を作製可能。 幅方向板厚偏差0.2mm以下。 ロール周速30m/minで板の作製が可能。 ロールの水冷機構には、新たな工夫をした。 (特許申請)
①-5 ロールクラウンの最適化	Al-SiCpに適したロールクラウンを調査する。評価は、圧延の難易とバリ量で行う。	【平成24・25・26年度実施】100% 計画時は、熱膨張によりロールが凸になり板厚分布が圧延に不適切な凹型なると予測していたが、新設計のロールが功を奏し、板厚分は平坦であることが判明したので、ロールクラウンに関する研究は行っていない。

① 6 ロール面状態の最適化	角度 60 度の三角溝で深さ 0.1, 0.15, 0.2 mm, ロール周方向で平行およびクロスするもので調査する。鋳造板を 0.6 mm まで圧延してエッジ以外のクラックで評価する。大阪工大でロールの基本特性を明らかにした後、秋葉ダイカストで量産試験を行う。	【平成 25・26 年度実施】100% ロール表面以外の条件を適切にした結果、ロール表面に特別な加工を行わなくても、圧延時に割れを発生しないようになった。角度 60 度の三角溝で深さ 0.2 mm の溝が、鋳造条件が適切でないときに凝固遅れが発生した場合などに有効であることは、明らかにした。上記の理由で溝加工は実施しないことにした。
② ロール式鋳造板の両端にバリが発生しないサイドダムプレート（サイド堰）の開発		
②-1 スリットの設計	ラボサイズ機によりサイドダムプレートのバリ逃しのスリット形状とバリの量との関係を調査した結果をもとに、生産機で利用可能なスリットの最適化を行う。	【平成 24・25 年度実施】100% Al-SiCp 材のマトリックスの流動性に合わせた最適条件を明らかにした。 Al-SiCp 材は半凝固時に粘性が高くなるため、ノズル上げ法により縦バリを横バリにする方法が有効であることを明らかにした。
②-2 バリカッターの開発	ラボサイズ機でバリカッターの形状とバリ量の関係を調査した結果をもとに、生産機で利用可能なバリカッターの機構の最適化を行う。	【平成 24・25 年度実施】100% Al-SiCp 材のマトリックスの流動性に合わせた最適条件を明らかにした。
③ SiCp 量が 35vol% 以上におけるロール式鋳造条件とプロセスの確立		
③ SiCp 量が 35vol% 以上における双ロール式鋳造条件とプロセスの確立	凝固時間を長くする操作を行いロール周速と凝固距離で最適条件を明らかにする。大阪工大で開発した異形双ロール式鋳造法を最適化しロールの基本特性を明らかにする。	【平成 25・26 年度実施】100% SiC 量が 45 vol% のものしか入手できなかった入手できなかった。この材料は、粘性が高くなるアイスクリームのような状態で、ノズル内に均一に注湯することが不可能であった。 SiC 量が 45 vol% ものを Al で希釈して 35 vol% 程度のものを自作して実験した。
④ クラッド材のクラッド比の設定方法の確立		

④ クラッド材のクラッド比の設定方法の確立	研究開発により確立した双ロール鋳造法におけるクラッド化による表面コートを行うため、のスクレイパー位置とロール径の適切な配置を選択し、凝固距離を介して操作する方法を用い、Al-SiCp合金と3003合金とのクラッド比の実用限界値を明確化する。	【平成24・25年度実施】100%クラッド材が作製可能であることを明らかにした。クラッド比の制御が可能な鋳造条件を検討した。凝固距離によるクラッド比制御が適切であることを明らかにした。
⑤ ロール式鋳造材の半凝固成形用金型システムの確立		
⑤-1 型の設計 ⑤-2 型の製作・評価	実際に半凝固成形を行い、半凝固成形用金型システムの確立を目指す。材料の成形温度（固相率）、型温度、成形荷重をパラメータとして成形性を調査し、最適条件を求める	【平成24・25・26年度実施】100% 厚さ5mm程度のAl-30vol%SiCp材は、容易に切断できないこと、半凝固状態での取り扱いがマトリックスの流動性のために容易ではないことが判明した。そこで、厚板成形は、重力鋳造に切り替えた。その結果、目的の形状の板成形品を得ることができた。
⑥ 特性評価		
⑥-1 熱的特性評価	ロール式鋳造条件ごとに熱膨張係数、熱伝導率を測定し、放熱特性が良い条件等の明確化を行う	【平成24・25年度実施】100%熱伝導率を測定し、インゴット材と同等であることを確認した。
⑥-2 組織評価	ロール式鋳造条件ごとにSiCpの分布状態などを評価し、各特性との相関関係の明確化を行う	【平成24・25・26年度実施】100% 光学顕微鏡と電子顕微鏡（SEM）により鋳造まま材の組織を観察した。SiCpの分布状態には鋳造条件等が影響していないことが判明した。また、リサイクルの回数が3回の場合でも、SiCpの凝集は見られなかった。

⑥-3 機械的特性評価	ロール式鑄造条件ごとに機械的性質を評価し、他の特性との相関関係の明確化を行う。	【平成25・26年度実施】100% 引張試験により機械的性質を調査した。ロールキャスト材であれば、ロール周速や板厚により機械的は影響を受けないことが明らかになった。熱的特性も機械的性質と同様に鑄造条件の影響を受けなかった。
その他 熱間圧延	幅200mmのAl-30vol%SiCp鑄造板を厚さ1mmまで熱間する。	【平成26年度実施】100% 問題なく1mmまで圧延可能。幅100mmの場合は、0.5mmまで圧延可能。

### 従来工法を1とした時の本提案工法の生産性及びコストの比較

	鑄造	加熱	圧延	粗板切断	合計
生産性(1min当り生産量)	8	3	2	15	
1Kg当たりコスト	0.20	0.30	0.64	0.1	0.45

\*本事業のよる工程コスト要素の単純比較では、製造コストは従来工法の半分以下を達成。

## 2 研究開発後の課題および事業化

本研究開発では、双ロール式縦型鑄造法の独自開発を進め、開発した双ロールキャストにより、目標とした軽量・艇熱膨張・高熱伝導性を有するAl-SiCp複合材の薄板の製造において従来法の50%以上のコスト低減を可能とした。また、シートの発展レベルの提案として、AlSiCと純Alを双ロール鑄造時にクラッド化し、メッキ処理を可能とすることも実現出来た。また、電気自動車で使用するIGBT用ベースプレートの半凝固3次元成形技術の確立を目指したが、結果的に、重力鑄造のよる3次元成形で基礎的な条件を見いだせた。本研究開発の提案事項においては、内容は全てクリアしている。

本研究開発後の事業化としてのターゲットとして、①コンピュータや携帯電話のCPU用ヒートスプレッダー、②電車や電気自動車のインバータ電源用ヒートスプレッダーがある。ノートパソコンや携帯電話のCPUのヒートスプレッダーは近年、CPUの性能向上に伴い発熱量が増加し、電気自動車のインバータ電源デバイスのIGBTのベースプレートもアルミ合金では冷却性を満足せず、銅合金では重いことが問題にされている。銅合金に変わる高熱伝導・低熱膨張でかつ高鋼性でかつ軽量のAl-SiCp複合材板の使用が世界的に望まれているなか、今後、益々その傾向は高まって行く。

今後、国内外PRを展示会・企業訪問にて積極的に行い、川下ユーザーでのサ

ンプル評価を受けて、川下ユーザーのニーズに合うように摺合せ及び改善を行う。また、生産設備にも課題が残っているので、設備をかけなくても製造できる商品から実用化を図る。既に国内・海外の主要大手ユーザーへのPRと摺合せを進めており、今後の具体的な部材の試作と評価を繰り返しながら商品化を進めていく。

又、材料（AlSiC）の供給に関しては、現在特許の関係から、材料を供給出来るメーカーは海外の限られたメーカーに限られ、事業のネックになる可能性があった。株秋葉ダイカスト工業所は、材料メーカーと提携し、概ね2年以内に全面的な供給と日本での合弁事業を行う方向で検討が進められている。材料の供給能力の確保は、川下ユーザーにとって、部材の採用可否を決める重要事項であり、特許を持つ材料メーカーとの提携は事業化には大きな意味を持つ。また、日本での材料内製が達成されると、コストも低減出来る可能性もあり、今後の需要増大に伴う市況価格の低下に対しても優位性を持つことが可能である。

