

II. 參考資料

(1) 総合研究

「材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のための バリアーフリープロセッシング技術に関する研究」

(H11年～H13年：第1期)

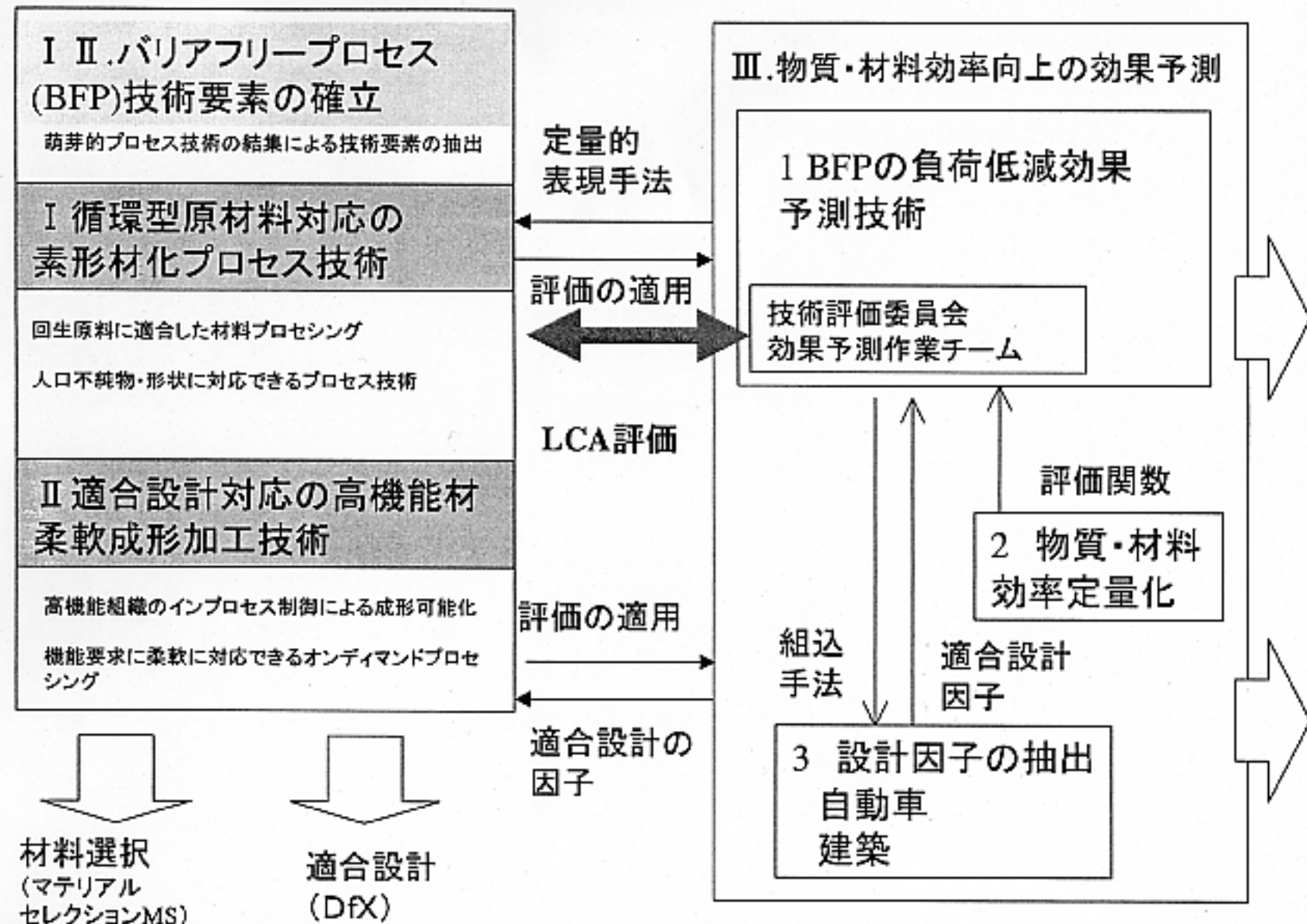
H13年度予算額：2.2億円（前年度 3.2億円）

研究代表者：原田幸明（物質材料研究機構）他14機関

研究の概要 - 目標	諸外国の現状	研究推進・成果の波及効果
<p>1 何を目標としている</p> <p>循環型・低環境負荷型社会実現の障害となっている要素を無害化した「バリアーフリー」プロセッシングの構築を目指す。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>(第I期の目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料のリサイクル障害（不純物や形状障害等）の無害化 ・低環境負荷に適合した加工・設計技術の構築 ・新たな環境負荷予測手法の確立 <p>(第II期の目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第I期までの抽出された各技術の共通要素の体系化・汎用化及びこれら環境負荷削減技術のコンポーネントや製品化技術の中への具体化 </div> <p>2 何を研究するのか</p> <p>「環境負荷の低い原材料、主にリサイクル材料の利用技術」と「環境負荷低減に向けた製品設計技術」の確立による「バリアーフリー」プロセッシングの構築及び社会科学的要素（コストや社会性など）も含めた関連諸技術の体系化。</p> <p>3 研究の新規性</p> <p>「バリアーフリー」という概念に基づくプロセッシング技術の確立</p>	<p>現状</p> <p>材料の環境への負荷を低減させようという試みは世界的に関心が高い。特に製品レベルでの環境影響管理の意識は世界的に高まっており、産学官での種々の取り組みが先進国を中心に進んできている。しかし、これらの国々でも、指標化や材料の選択の要素が強く、既存生産プロセスを見直し、物質・材料効率を向上させようとする「プロセッシング」への問題意識はまだ十分に形成されていない。</p> <p>一方、中国など生産重視の社会背景を持つ国では、生産プロセス等の低環境負荷技術には強い関心を示しているが、十分に研究を組織するには至っていない。</p> <p>我が国では、「バリアーフリー」という概念を基にした革新的プロセッシングに関する大規模な取り組みは今のところ見られないが、先年の「エコマテリアル」プロジェクト等数々の取り組みを通して、「物質・材料効率」の向上という観点からのプロセッシング技術に向けた研究を行うための組織的・技術的基盤は培われている。</p>	<p>1 世界との水準の関係</p> <p>本研究は、日本が本分野で先行し、国際的に中軸的役割を果たしていくための土台となる。</p> <p>2 波及効果</p> <p>①リサイクル可能な材料が増える。特に、使用済みスクラップをベースにした循環システムが構築される。</p> <p>②これまで低環境負荷であることが知られつつも加工が難しく用途が限定されていた材料の利用の幅が大きく広がる。</p> <p>③新たなプロセス技術や材料利用が地球環境影響の低減に及ぼす効果予測手法が確立される。</p> <p>・また、これらの技術は、環境負荷削減のみならず、生産コストや大量生産性、他品種・迅速柔軟生産へ転換する基礎技術の構築に反映される。</p>

【バリアーフリープロセッシング】 限定された加工方式への適合性など、製品設計への自由度を小さくする障害（バリア）、及び一定の品質の原材料が要求されるなどの材料選択の自由度を小さくする障害を突破するための革新的プロセッシング。

$$\text{物質・材料効率} = (\text{相物質私用量 [TMR]}) / (\text{適合設計因子})$$



適用領域探索のための影響予測

物質・材料効率改善効果の表現

MS/BFP/DfXの短縮による物質・材料効率の向上

萌芽技術結集型によるバリアフリープロセス技術の構築研究

循環型原材料対応素形材化領域・技術

人工不純物に対応するプロセス技術

低環境負荷原料、特殊成分量削減、
単純組成、リサイクル原料

- 回生原料の不純物無害化熱延
- 回生原料のモルフォロジーフリー加工
- 回生原料の不純物利用素形材化
- 回生複合プラスチックの再複合化
- 回生木材の再循環可能な長寿命複合化

- 熱延表面現象
- 微細粒化
- 半凝固組織
- 界面反応
- 低温高圧成形

- 加工時の化学反応利用組織制御
トランプレメント液層化防止・無害化
- 固相微細粒化高密度中間成形体
固相極微細化前駆体
- 微量化合物を利用した組織制御
微細分散効果
- 再結合可能な剥離・分離状態
剥離界面構造の制御
- 生物系樹脂との複合制御
相溶化可能状態への粉化技術

ストラクチャフリープロセス
材料選択のバリアをなくす
同時一括加工プロセス
材料の形状付与過程で組織制御

材料の創製過程と成形加工を結合
製品設計へのバリアをなくす
柔軟な成型プロセス
ソリッドフリープロセス

- 局所合金化
- 微細化組織
- その場合成
- 凝固制御
- 直接成形

高機能材のインプロセス制御による柔軟成形

- 強靱ヘテロ組織の複雑形状成形
金属射出成形、メゾヘテロ組織
- 組成や変形に依存しない超塑性
結晶粒微細化高速超塑性
- 強靱性と成形性の共存
複合組織のインプロセス合成
- 難加工TiAl系の薄板凝固
熱源のハイブリッド化による凝固制御
- 光機能ガラスの直接ファイバー化
加工過程の単一化による析出制御

適合設計対応柔軟成形

- 高機能動力伝達部品のネット成型
- 軽量材料の高速柔軟成型
- 高機能金属間化合物の複合成型
- 難加工材の直接薄板化
- 光機能ガラス析出制御ファイバー化

柔軟設計による製品寿命延長・リユース促進
薄肉軽量化、小型高機能化、高効率化設計
加工無駄削減、リサイクル性素材製品化

インプロセス設計因子の検討

均一系、傾斜計、複合系

(LCA的に優れたプロセッシング)

= (環境負荷の低い原料への対応) + (自工程の負荷削減) + (環境を配慮した設計への柔軟な対応)

マテリアル・セレクション
MS

X適合設計
Design for X

第一分科会

第二分科会

- 不純物含有回生スクラップ
- 塊状混在スクラップ
- 廃棄FRP
- 循環性木質材料

- 不純物混入バリア
- 脆化組織凝集バリア
- 異形原料バリア
- 界面分離バリア
- 異種接合層バリア

素形材化プロセス

- 成分限定バリア
- 難加工性微構造
- 加工温度バリア
- 加工速度バリア
- 加工時特性劣化

- 高効率エネルギー伝達材 (鉄基、金属間化合物)
- 薄肉軽量化材 (Mg、Ti合金、複合材)
- 高機能性素材 (機能ガラス、熱電素子)

MSとDfXの距離を短くするプロセッシング

省物質・省材料
高循環性
低環境負荷履歴

省物質・省材料
高循環性
高効率使用

素形材化プロセスの中に存在する
フレキシビリティへのバリアを克服する
バリアフリー・プロセッシング

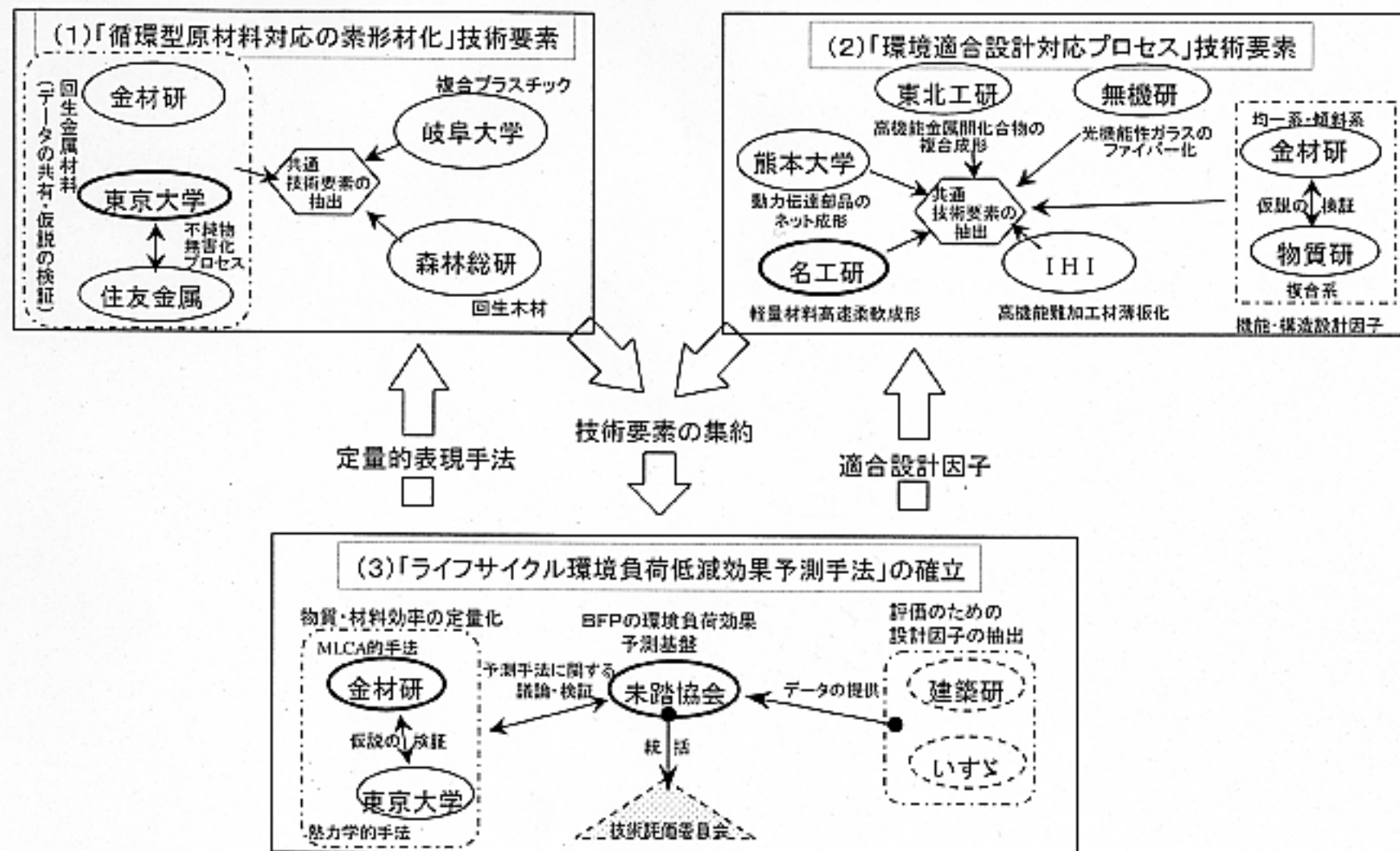
第三分科会

効果予測技術
パラメータ
適合設計因子

(バリアフリープロセッシング)

= (柔軟な原材料選択)・(材料プロセッシングのイノベーション)・
(適合設計への指向)

「バリアーフリープロセッシング技術」の研究体制



材料のライフサイクル全体について環境負荷の低減を目指した「バリアーフリープロセッシング」の実現のための関連諸技術の体系化

「材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリアフリープロセッシング技術に関する研究」

調査項目	担当機関	担当者	平成11年度所要経費 (単位：千円)	平成12年度所要経費 (単位：千円)	平成13年度所要経費 (単位：千円)	第1期所要経費 (単位：千円)
1. 循環型原材料対応の成形材化プロセス技術						
(1) 回生原料の不純物無害化熱延プロセス						
① トランプエレメント無害化のメカニズム	東京大学大学院 工学研究科	柴田 浩司	11,537	14,120	9,198	34,855
② トランプエレメント無害化の要素技術	住友金属工業㈱	小溝 裕一	10,645	10,171	11,852	32,668
(2) 回生原料のモルフォロジーフリー微細粒化プロセス	東京大学 先端科学技術研究センター	相澤 龍彦	23,974	25,007	12,105	61,086
(3) 回生原料の不純物利用成形材化プロセス	独立行政法人物質・材料研究機構	大澤 嘉昭	20,053	27,764	16,731	64,548
(4) 複合プラスチックの界面再編成による再複合化技術	岐阜大学 工学部	杉 義弘	10,511	13,713	6,167	30,391
(5) 回生木材の再循環可能な長寿命複合化技術	独立行政法人森林総合研究所	大橋 誠	23,917	10,394	7,322	41,633
2. 適合設計対応の高機能材柔軟成形加工技術						
(1) ヘテロ組織インプロセス制御による高機能動力伝達部品のネット成形	熊本大学 工学部	三浦 秀士	28,706	20,889	14,737	64,332
(2) 微細組織インプロセス制御による軽量材料の高速柔軟成形	独立行政法人産業技術総合研究所	馬河 守	18,294	28,296	12,532	59,122
(3) インプロセス合成による高機能金属間化合物の複合成形	独立行政法人産業技術総合研究所	橋本 寿	7,684	8,995	8,333	25,012
(4) インプロセス凝固制御による高機能難加工材の直接薄板化	石川島播磨重工業㈱	園家 啓嗣	12,716	14,838	12,946	40,500
(5) インプロセス析出物制御による光機能性ガラスのファイバー化	独立行政法人物質・材料研究機構	森 眞一	18,110	22,912	12,661	53,683
(6) 目的指向の機能・構造のインプロセス設計因子の検討						
① 均一系の機能・構造設計因子	独立行政法人物質・材料研究機構	小野寺 秀博	8,556	10,066	7,435	26,057
② 傾斜系の機能・構造設計因子	独立行政法人物質・材料研究機構	桂原 喜一	6,661	7,304	4,796	18,761
③ 複合系の機能・構造設計因子	独立行政法人産業技術総合研究所	鈴木 孝和	8,849	10,271	7,261	26,381
3. 物質・材料効率改善によるライフサイクル環境負荷低減効果予測技術						
(1) バリアフリープロセスの環境負荷低減効果予測基盤の構築	(社) 非結科学技術協会	志村 幸男	18,699	20,188	16,827	55,714
(2) 物質・材料効率の定量的化に関する研究						
① MLCAIに基づく定量化手法	独立行政法人物質・材料研究機構	原田 幸明	13,425	12,402	10,346	36,173
② 熱力学的方法による定量化手法	東京大学大学院 工学研究科	月橋 文孝	7,703	9,483	5,044	22,230
(3) 物質・材料効率評価のための設計因子の抽出						
① 自動車用材料の適用設計因子の抽出と定量化	いすゞ自動車㈱	河西 祐一	7,814	8,451	6,062	22,327
② 建築用材料の適用設計因子の抽出	独立行政法人 建築研究所	井戸川 純子	9,645	17,198	14,039	40,882
③ 電子機器部品用材料利用の適用設計因子の抽出	関西大学 工業技術研究所	中野 加穂子	0	28,228	19,122	47,350
4. 研究推進	文部科学省 研究振興局		407	541	505	1,453
合 計			267,906	321,231	216,019	805,156

研究目標の概要・成果の概要<課題全体>

課題名（研究代表者）：材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリアフリープロセッシング技術に関する研究（原田幸明）

【研究目標の概要】

CO2等による地球温暖化など現代の人類の抱えている地球環境問題を解決していくためには、人類が地球環境から掘り返し、様々な形で使用した後、地球環境に破棄している資源・物質のライフサイクルでの循環総量を大幅に削減しつつ社会が発展していくことのできる新しい生産様式、生産技術への展開が求められている。本研究では、部材や素形材に要求される目的当たりの資源・物質の総投入量の有効性を”物質・材料効率” (materials efficiency) と呼び、その向上にむけた材料のライフサイクルデザインを可能とする革新的プロセッシング技術の確立を目標とし、そのために、環境負荷の低い原材料と環境負荷低減を目指した製品設計を結びつけるうえで現在の材料プロセッシング技術を拘束する前提や障害を突破することのできる革新的なプロセス技術(バリアフリープロセッシング技術)の創生をすすめてきた。これを通じて、より快適に生活するために材料に求められる設計上の要求をより効率的な物質・材料消費で実現する技術基盤を構築し持続可能型生産様式へ展開する低環境負荷型の材料技術の基盤を切り開くことを目指している。そのために本研究では、1. 循環型原材料対応の素形材化プロセス技術、2. 適合設計対応の高機能材柔軟成形加工技術、3. 物質・材料効率改善によるライフサイクル環境負荷低減効果予測技術、の3研究分野を採り上げ、それぞれの以下のような目標を設定した。

1. 循環型原材料対応の素形材化プロセス技術では、大きな環境負荷を伴う高品質のバージン原料に依存せず多量の市中スクラップ等低品位の回生原料を用いることのできる資源循環型のマテリアルフローを現実化させるプロセス技術の創生を図った。そのために、回生材料・省成分材料など種々のリサイクル・マテリアル・セレクションを阻害する素材生産・製品化プロセスの革新に注目し、多様なリサイクル材の利用を可能とする環境対応プロセスの開発を目標とした。対象は、社会基盤材料としての鉄鋼・非鉄材料(アルミなどの軽量材料)、木質材料、ポリマー材料であり、それぞれのリサイクル材の特徴、社会への製品還元形態に適した素形材化を目指した。

2. 適合設計対応の高機能材柔軟成形加工技術では、材料の使用段階の環境負荷削減の促進に向け、素材のもつ特性・機能を多用途の製品設計仕様的高度化に対応して物質・材料の組織構造を柔軟にインプロセスで制御しさらに加工成形可能とすることで的確に発揮させ、使用目的当りの物質・材料効率を飛躍的に改善できるプロセス技術の創生を図った。そのために、形状付与、構造設計など製品化への加工バリアをプロセッシングを通じて突破できる技術を個々のケースを通じて開発し自由度の高い材料プロセス技術を目指した。

3. 物質・材料効率改善によるライフサイクル環境負荷低減効果予測技術においては、バリアフリープロセッシングによる材料プロセスのイノベーションが材料の全ライフサイクルを通じての環境負荷低減に及ぼす効果を予測する技術の確立を図り、そのために、MLCAを発展させて適合設計と結びつけた評価の可能な物質・材料効率改善の算定手法の確立と予測技術の具体化を目指した。

【研究成果の概要】

循環型原材料対応の素形材化プロセス技術では、回生材料・省成分材料など種々のリサイクル・マテリアル・セレクションを阻害するバリアを取り除いた素材生産・製品化プロセスの革新の視点から、複合や混合による人工不純物を無害化もしくは積極利用するなど、従来の自然由来原材料と異なった不純物・モルフォロジーに適合した

新たな素材材化プロセスの可能性を検討し、それぞれの素材材化過程に組み込み可能な技術要素を明らかにした。リサイクル材の既存プロセスへの不適合バリアの所在、開発プロセスのバリアフリー性、成果の概要を以下の表にまとめた。

環境対応プロセス名	内在するバリア	バリアフリー化	達成成果
再生材料の不純物無害化熱延プロセス	Cu, Snによる熱間加工表面割れ	スラブ加熱後の冷却制御による無害化	ラボラトリー・スケールでは無害化に成功
再生原料のモルフォロジーフリー微粒化プロセス	再生材料の形態による不良、粗い原材料組織	BMIによる微細粒化とインプロセス組織制御	Al-Si系で高効率微細化に成功 (5-7 μ m均質粒径の実現)
再生原料の不純物利用素材材化プロセス	Cu, Alの大量の不純物混入	Cuの封じ込め・固化技術、Alの高性能鉄化への利用	Cu混入下でも高応力・延性バランスの達成
複合プラスチックの界面再編成による再複合化技術	有機-無機複合材の非リサイクル性	界面剥離可能な設計とその製造時での組み込み	界面分離可能な新しい溶媒可溶型耐熱性樹脂の開発
再生木材の最循環可能な長寿命複合化技術	廃木材の原料形状の複雑さ、熱硬化性樹脂の非加工性	木質成分の微細化と超高压成形	木材・WPCなみの密度、圧縮強度、硬さの実現

適合設計対応の高機能材柔軟成形加工技術では、素材自体は優れた特性を持つものの成形等の加工プロセスにバリアの存在する素材を対象に加工段階のインプロセス制御で形状および特性を獲得することのできる自由度の高い成形プロセスの開発を進めた。それらの従来のバリアと達成内容は以下ようになる。

環境対応プロセス名	内在するバリア	バリアフリー化	達成成果
ヘテロ組織インプロセス制御による高機能動力伝達部品のネット成形	強靱化のためのレアメタル成分の増加 (組織単調化、組織粗大化)	メゾヘテロ組織利用による省成分化+MIHによるネットシェイプ化 (局所傾斜化)	Ni添加の最適組成、強度2000MPa&伸び5%の強靱化
微細組織インプロセス制御による軽量材料の高速柔軟成形	最密六方格子構造による難加工性、結晶粒粗大化 (結晶構造由来、組織粗大化)	加工熱処理による動的微細粒化 (微細粒増殖)	Mg合金の超塑性化(10 ⁻² s ⁻¹ で208%伸び)、高強度化(378MPa)
インプロセス合成による高機能金属間化合物の複合成形	共有結合性による難加工性、高温反応による特性劣化 (結晶構造由来、脆化層形成)	機械エネルギーによる内部エネルギー蓄積での低温その場合成 (その場合成)	低温(1673K)緻密化による室温脆性の改善
インプロセス凝固制御による高機能難加工材の直接薄板化	最密六方格子構造による難加工性、単調組成による特性劣化 (結晶構造由来、組織単調化)	減圧プラズマ溶射法を用いて粉末から直接薄板化と表面傾斜化 (局所傾斜化)	高強度高耐食性Ti合金薄板
インプロセス析出物抑制による光機能性ガラスのファイバー化	ガラス熔融からの多段階熱工程での微結晶析出 (析出相形成、脆化層形成)	1段階加熱処理での直接成形技術 (その場合成)	構造不整(微結晶、気泡等)起源の光損失を無くした光導波路

表に示したように第一分科会(プロセス・インプット)、第二分科会(プロセス・アウトプット)を通じて、素材材化プロセスの中にある「バリア」を明確にし突破技術を明らかにしてきたが、当初、個々の課

題に特有のものとして認識されていた「バリア」の由来が、「不純物混入」、「脆化相形成」、「結晶構造由来」、「界面接合／分離」などの材料間に共通性のある「バリア」であり、それらの突破技術のシーズとして、プロセス・インプット側では、「インプロセス無害化」、「不純物分散化利用」、「界面親和性分離性制御」の「分散界面制御による素材形化」技術、プロセス・アウトプット側では、「局所傾斜化」、「微細粒増殖」、「その場合成」の「インプロセス組織制御による加工柔軟性付与」が有効であることが明らかになった。

これらのバリアを突破する技術の効果を明らかにする、技術物質・材料効率改善によるライフサイクル環境負荷低減効果予測技術の研究においては、効果予測技術の確立のための基礎となる、評価パラメータ、基準単位としての適合設計因子および適用手法の3面から検討を進めた。その内容と成果を表に示す。

効果予測課題	対象	検討項目	算定・抽出結果
物質・材料効率の定量化	TMR(関与物質総量)、熱力学的パラメータ	鉱山データ、資源データをもとにした基礎データ算定、エクセルギーの検討	全金属に関する鉱石分のTMR算定
物質・材料効率評価のための設計因子の抽出	自動車用材料	性能評価因子;使用因子;組立設計因子	「耐久性」、「安全性」、「経済性」、「環境調和性」;「長寿命設計」、「メンテナンス性」、「寿命予測」、「劣化対策」、「補修性対策」;「解体・リサイクル性」、「素材の統合化」、「環境負荷の少ない組立法」
	建築用材料	ライフサイクルデザインマトリクス化	「廃棄物等の発生の抑制」、「汚染物質の発生削減」、「資材使用量の適正化」、「生産物の機能・性能の確保」
	電子機器用材料	LCAベースのリユース、リサイクル評価	モジュール化比較によるリサイクル・リユース性評価手法、「潜在的有害強度」による非リサイクルとの定量比較
バリアフリープロセスの環境負荷低減効果予測基盤の構築	効果予測手法	第一、第二分科会の開発技術への効果予測評価ケーススタディ	「ニーズの大きさ」、「物質・エネルギー投入と排出」を変数、新技術の社会適用／非適用のシナリオ比較による第一分科会および第二分科会での材料プロセス技術開発へのLCA的手法の適用

特に、評価パラメータについて、TMR(関与物質総量)の基礎数値が算定できてきたことにより資源生産性の簡素化した表現が可能となり、TMRを全ての資源やプロセスに対して適用できる評価パラメータとしていく基礎ができた。またリユース・リサイクルの効果予測に関しても非リサイクル時の環境負荷予測と比較した評価を可能とすることができている。

このように効果予測技術、定量化、適用設計因子それぞれの分野で要素手法は明らかになってきており、今後は総合的、共通的な方法としての確立への基盤が形成されつつある。特に、リサイクル・リユース性の評価手法におけるミレニアムプロジェクトでの経済産業省の取り組みとの連携、第一第二分科会の技術開発ケースの効果予測など、具体的に発展的・汎用的に適用可能な効果予測技術として、バリア突破の意義を資源生産性の面からの的確に表現するツールへと発展させていくことができる。

また、プロセス技術開発としては、材料から製品に到るバリアは、インプット(循環型対応:第一)では素材化へ向けてのバリアと打開の方向ともに明確になりつつあり、アウトプット(適合設計対応:第二)で明らかになったバリアとインプロセス制御のアプローチを生かして、インプット(循環型対応)の素材化からアウトプット(適合設計対応)へとつなぐことのできる技術的ソリューションに向けた革新的材料プロセス技術として発展させていく技術基盤を明確にできたものとみなせる。

研究成果公表等の状況<課題全体>

課題名（研究代表者）：材料の低環境負荷ライフサイクルデザイン実現のためのバリアフリープロセッシング技術に関する研究（原田幸明）

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	40(+6) 件	69(+4) 件	162(+7) 件	271(+17) 件
国外	53(+15) 件	33(+3) 件	72(+7) 件	158(+25) 件
合計	93(+1) 件	102(+7) 件	234(+14) 件	429(+42) 件

（注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと）

【特許出願等】 7 件（国内 7 件、国外 件）

【受賞等】 7 件（国内 6 件、国外 1 件）

- ・平成12年東海化学工業会賞（2001年5月）岐阜大 窪田
- ・粉体粉末や金協会研究進歩賞（2000年5月）名工研 馬淵
- ・工業技術院長賞（2000年6月）名工研 馬淵
- ・粉体粉末や金協会論文賞（2001年5月）熊本大 松田、三浦
- ・韓国金属学会論文賞（2000年4月）東北工研 朴
- ・粉体粉末や金協会研究進歩賞（2000年6月）東北工研 橋本
- ・科学技術庁長官賞（2000年4月）東北工研 橋本

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	サ7'テ-マ 1	サ7'テ-マ 2	サ7'テ-マ 3	合計
Nature					0
Science					0
主要雑誌小計					0
発表論文合計		4.20	11.84	5.16	21.20