

平成 1 7 年度 特許出願技術動向調査報告書

マグネシウム合金構造用材料の製造技術 (要約版)

< 目次 >

第 1 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の概要 . . .	1
第 2 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の 特許動向	4
第 3 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の 研究開発動向	29
第 4 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の 政策動向	32
第 5 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の 市場動向	29
第 6 章	マグネシウム合金構造用材料の製造技術の 提言	37

平成 1 8 年 3 月

特 許 庁

問い合わせ先
特許庁総務部技術調査課 技術動向班
電話：03 - 3581 - 1101 (内線2155)

第1章 技術の概要

第1節 構造材料としての展望

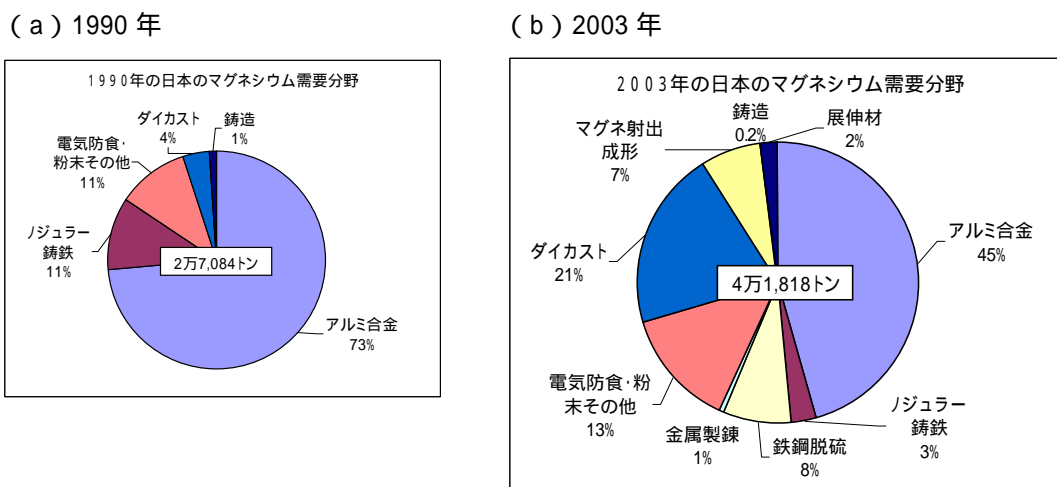
マグネシウムは実用金属中最も軽い材料であるばかりでなく、電磁シールド性、制振性、意匠性などに優れた魅力的な材料である。このような優れた性質がありながら、その使用量はアルミニウムの1%程度に止まっている。マグネシウムの主たる用途はアルミニウム合金の添加元素である。構造材料としては、我々の日常生活に馴染みの薄い材料であった。

しかし、中長期のレンジで俯瞰すると、マグネシウムを取巻く環境は大きく変化している。第1-1図は1990年と2003年におけるマグネシウム需要の構成比を比較したものである。1990年では需要量2万7千トンで、アルミ合金とノジュラー鋳鉄向け需要が84%を占めていた。しかし、2003年には需要量が4万2千トンに増加すると同時に、構成比が大きく変化している。ダイカスト、マグネ射出成形、鋳造、展伸材などの構造材料向け需要が30%を占めるに至っている。

このような状況の変化は1998年頃より始まった。環境対策の推進と電子情報社会への移行に伴って、構造材料として自動車部品や携帯電子機器にマグネシウムが適用され始めたからである。

本調査では、マグネシウム合金構造材料について、取り巻く環境変化や特許並びに技術文献からみた製造技術の変遷を探る。

第1-1図 マグネシウムの需要構成 1990年と2003年の比較



(出典) 日本マグネシウム協会の提供データを基に作成

第2節 技術俯瞰

第1-2図は携帯電子機器や自動車部品において、素材から製品に至るまでに通過すべき製造プロセスとその注目技術や課題を俯瞰したものである。マグネシウムは精錬や造塊などの「素材工程」、鋳造、塑性加工などの「成形工程」、化成処理などの「表面処理工程」など最低限3つの工程を経て構造材料として製造される。

1. 素材工程

素材工程とは電解法や熱還元法を用いてマグネシウム地金やマグネシウム合金地金を製造する工程である。我が国ではマグネシウム地金は中国など海外からの輸入に頼っており、国内

で精錬を行う企業は存在していない。しかし、新地金の生産は行っていないが、国内で発生する屑やスクラップからマグネシウムを回収する企業があり、二次精錬を行うことでマグネシウムのリサイクルを実現している。

2．成形工程

マグネシウムを構造材料として成形する方法として、「鋳造」、「塑性加工」、「粉末冶金」を挙げることができる。塑性加工には「圧延」、「押出」、「鍛造」、「プレス」の各種成形技術が含まれる。図中の円グラフは2003年のマグネシウムの需要構成を示したものであるが、構造材料として供されるマグネシウムは12,483トンで総需要の30%（ダイカスト、射出成形、展伸材、鋳造）を占めている。このほとんどがダイカストや射出成形（チクソモールディング）などの鋳造法により成形されており、圧延などの塑性加工を経て成形される部材は極めて僅かである。

しかしながら、鋳造技術の開発に伴って構造部材の薄肉化は大いに進んだけれど、鋳造による携帯電子機器の筐体薄肉化は既に限界に達しており、超薄肉化実現のための新しい成形技術が模索されているところである。金属の塑性加工は古くから詳細に研究され、一般的な成形方法となっているが、マグネシウムの塑性加工については、難加工性材料であるということが災いして、未開拓の技術開発領域として残っていた。しかし最近になって、携帯電子機器筐体などへのマグネシウムの適用というニーズに牽引されて、鋳造-圧延ダイレクトプロセス、温間プレス、プレス鍛造（プレスフォーミング）など新しい成形方法が提案されつつあり、今、脚光を浴びている分野である。

3．表面処理工程

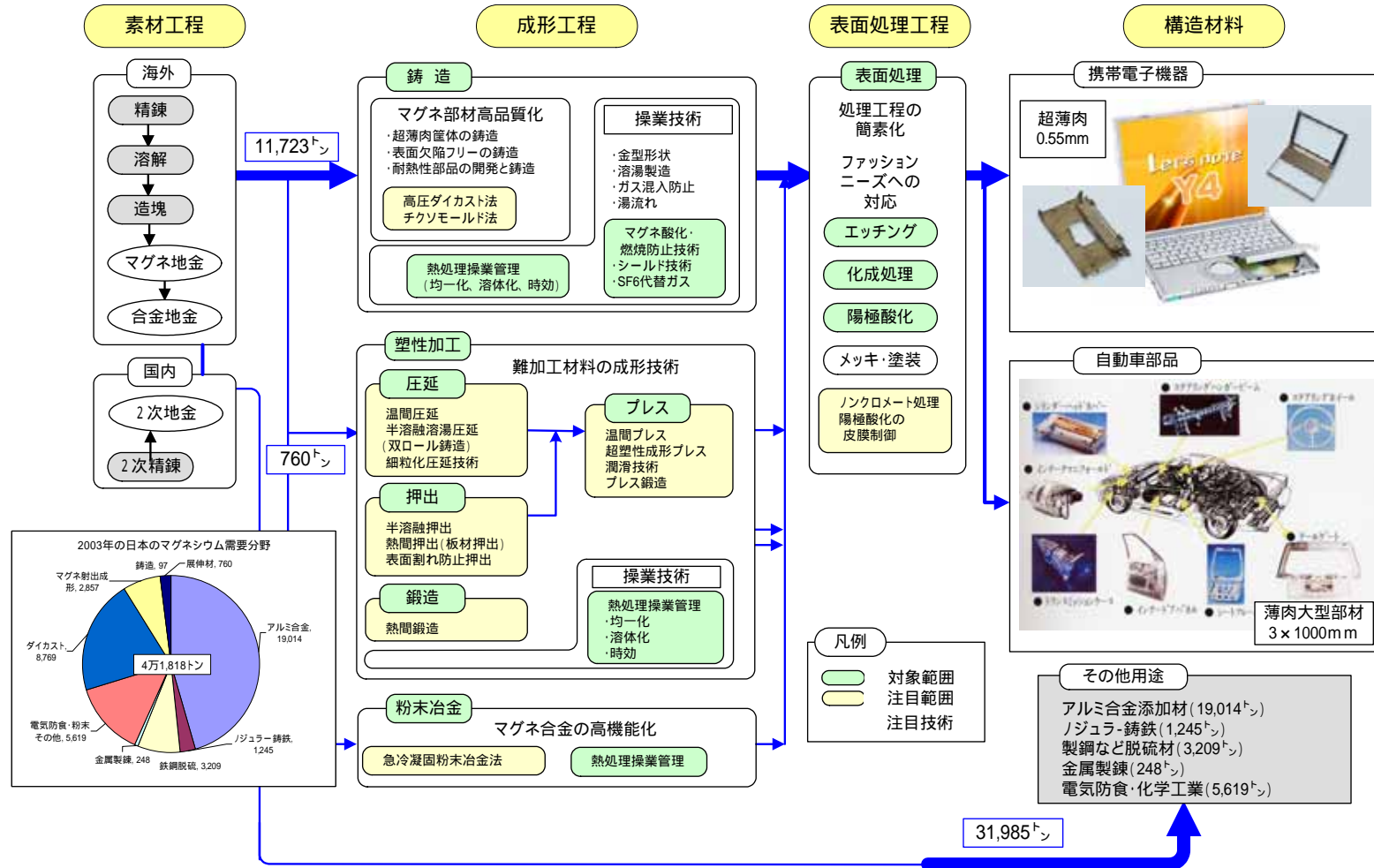
マグネシウムは耐食性に乏しい材料である。ノートパソコンや携帯電話などの筐体や自動車部品には何らかの表面処理が施されることが必須であり、マグネシウムの表面処理には「エッチング（酸洗い）」、「化成処理」、「陽極酸化」、「メッキ、塗装」などがある。

薄肉化の伸展に伴って、塗装前に表面欠陥を補修するための作業負担が増えており、作業負荷軽減のための表面処理技術、あるいはユーザのファッション感覚にマッチする表面品質を実現できる表面処理が模索され始めている。

今回の動向調査では、「鋳造」、「塑性加工（圧延、押出、鍛造、プレス）」、「熱処理」、「粉末冶金」、「表面処理（エッチング、化成処理、陽極酸化）」の5つの製造プロセスについてその特許、技術動向を調査する。

第 1 - 2 図 技術俯瞰図

俯瞰図 マグネシウム合金構造材料 構成技術



第2章 特許動向

第1節 全体動向

1. 特許調査の範囲

国内外データベースを利用してマグネシウムの鋳造、塑性加工、熱処理、粉末冶金、表面処理に関わる特許データを収集した。対象は出願基準年もしくは優先権主張年が1990年以降のもので、日本、米国、欧州、中国、韓国に出願もしくは登録（米国）された特許である。国内特許（日本）については9510件、海外特許（米国、欧州、中国、韓国）については1369件の特許データを収集した。

本調査は「マグネシウム合金構造材料の製造技術」に関わるものである。しかし、抽出した特許データには、アルミニウムや鉄鋼材料の添加物として利用される「マグネシウム」が検知され、アルミニウム基合金、鉄基合金、銅基合金など目的としない特許データも多数含まれている。そこで、特許抄録を参照し、本調査の趣旨に合致する特許データを選別、抽出した。1次選別、2次選別を経て確定した分析対象とする特許データ件数は第2-1表のとおりである。対象分野、出願先国別に特許データ件数を示す。

第2-1表 分析対象の特許データ件数

分野 \ 出願先国	日本 (出願)	米国 (登録)	欧州 (出願)	中国 (出願)	韓国 (出願)
鋳造	776	128	126	76	43
塑性加工	139	10	15	18	12
熱処理	141	19	26	21	16
粉末冶金	41	10	12	10	1
表面処理	338	98	139	84	62
合計(分野合計)	1435	266	319	209	134
合計(重複ナシ)	1331	256	295	192	124

(注1) 合計(重複ナシ)は各分野の集合和、分野間で重複のない件数

(注2) 米国は登録特許、日本、欧州、中国、韓国は出願特許

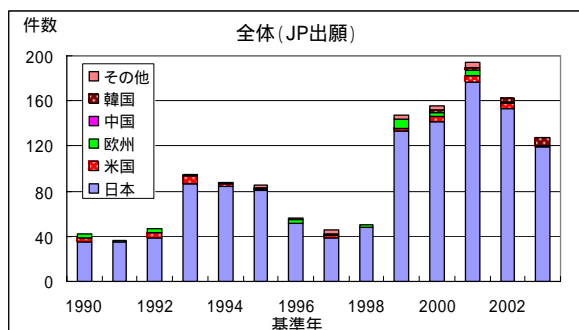
2. 出願推移

日米欧中韓5極における「マグネシウム合金構造材料の製造技術」への関心は高まりつつある。出願先国により濃淡があるが、1997年ごろより出願が増加している。5極全体の出願件数は、1997年以前には年間100件前後で推移していたが、最近では250件以上の特許が出願されるようになってきた。

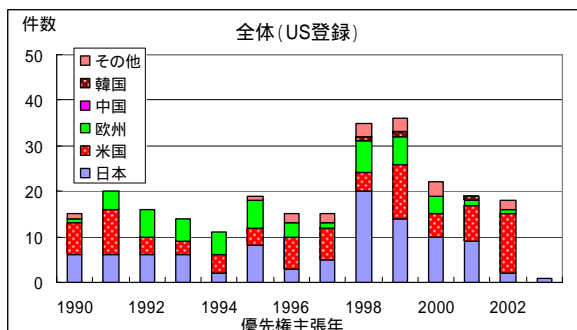
第2-1図は出願先国別の件数推移を出願人国籍で区分して示したものである。日本での出願は1993年から1995年にかけてピークを示した後、一旦減少し、1999年になって急激に増加する。米国や欧州及び中国では1998年ごろより増加し始め、中国では、その後も、安定した増加が続いている。当初、中国での主たる出願人は日本や米国であったが、2001年ごろより中国国籍出願人による自国への出願が増えている。

第 2 - 1 図 出願先国別の出願推移

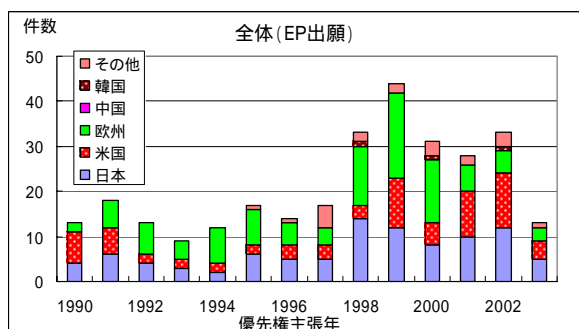
(a) 日本



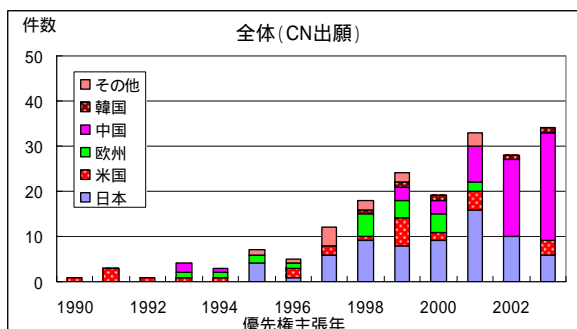
(b) 米国



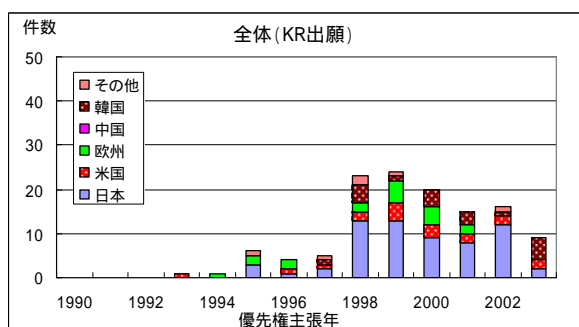
(c) 欧州



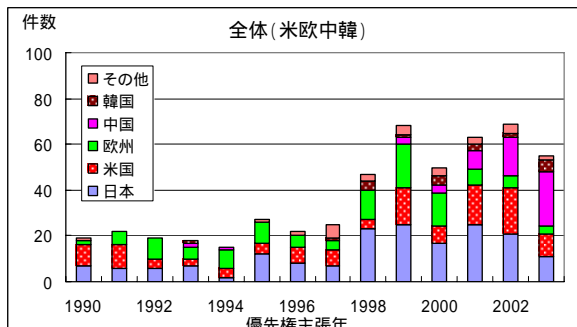
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(注 1) 米欧中韓：米国、欧州、中国、韓国に出願された特許をファミリー単位で集計。

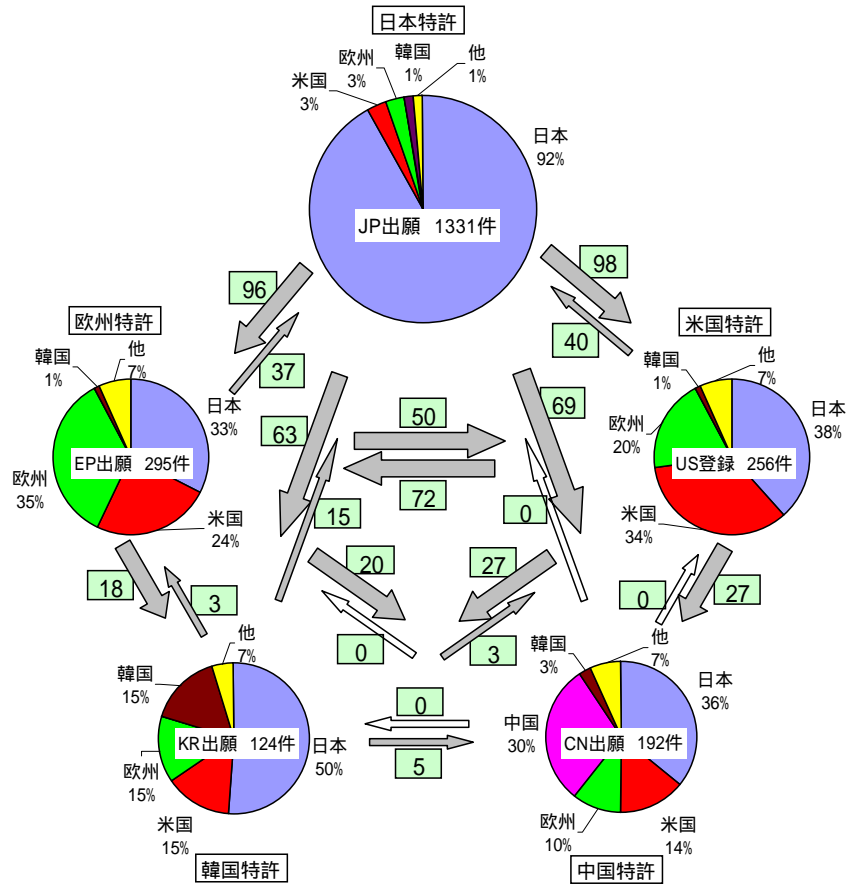
米欧中韓の標記は以下同じ

3. 日米欧中韓 5 極の出願収支

第 2 - 2 図に日米欧中韓 5 極の出願収支を示す。「日米欧 3 極の相互出願を基本に、日米欧の中国、韓国へのほぼ一方向の出願」というのが収支の構造である。日米欧から中韓への出願は 1995 年頃より始まっている。1998 年以降もその件数が増え、近年の中国や韓国での出願件数の増加に寄与している。

特許出願収支の点からみると、「マグネシウム合金構造材料の製造技術」は日本が圧倒的優位にある。しかし、近年での中国の特許出願や研究開発動向を考えると、今後、中国から他国への出願が増加することも予想され、日米欧中で技術開発ならびに厳しい知的財産保護の競争が繰り広げられる可能性がある。

第 2 - 2 図 日米欧中韓 5 極の出願収支



第 2 節 分野別の特許動向

1. 鑄造分野

(1) 出願推移

対象とした特許件数は出願先日本 (JP) 776 件、米国 (US) 128 件、欧州 (EP) 126 件、中国 (CN) 76 件、韓国 (KR) 43 件の合計 1149 件である。

第 2 - 3 図は出願先国別の出願推移を示したものである。

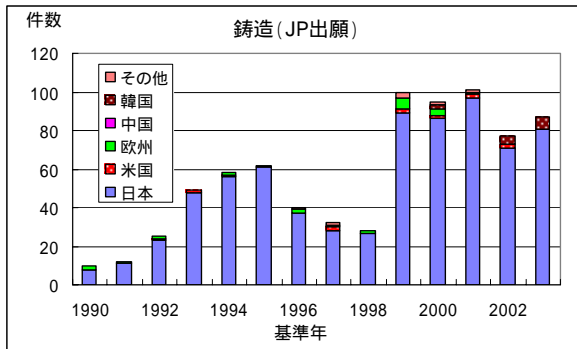
日本においては、1994 年から 1995 年にかけて一次的な出願ピークがあったものの、本格化したのは最近のことである。1999 年に鑄造分野の出願が急激に増え、以後、数年間、年間 80~100 件の出願が続いている。

欧州では 1999 年に出願ピークがある。これは欧州国籍出願人の特許出願自体が活発であったことに加え、日本国籍出願人も積極的に欧州に出願したことも関係している。中国では 1999 年から出願が増加し始め、中国国籍出願人からの出願が目立つようになってきている。

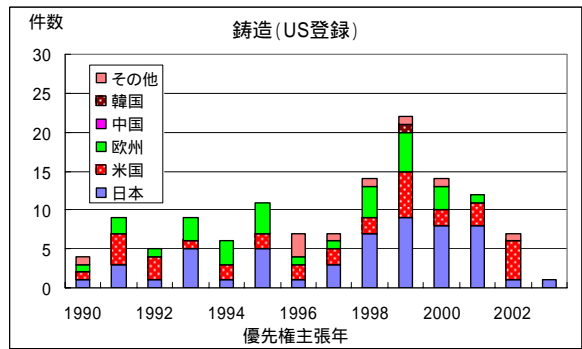
主たる出願人は、日本では日本製鋼所、宇部興産、本田技研工業、松下電器産業、マツダ、日精樹脂工業、米国ではタカタ (TAKATA CO.)、GM (GENERAL MOTORS CO.)、チクソマット (THIXOMAT INC)、欧州ではノルスク・ハイドロ (NORSK HYDRO AS)、ペシネー (PECINEY)、アルスイス (ALUSUSSE-LONZA) などである。中国では大学からの出願が多く上海交通大学が主要出願人である。

第 2 - 3 図 出願先国別の出願推移（鋳造）

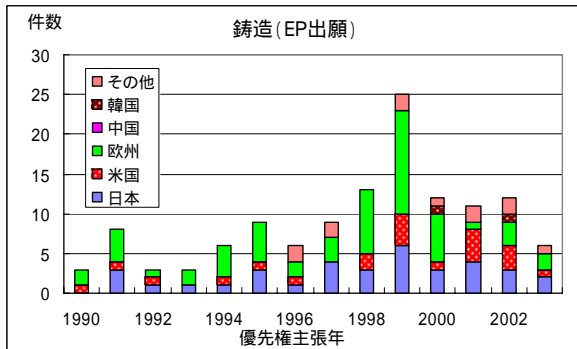
(a) 日本



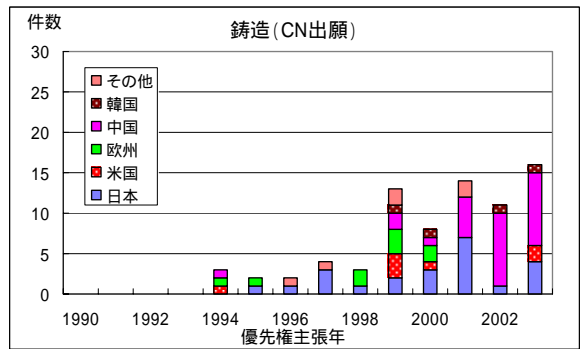
(b) 米国



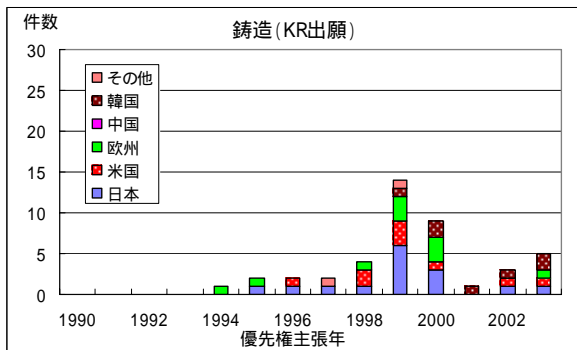
(c) 欧州



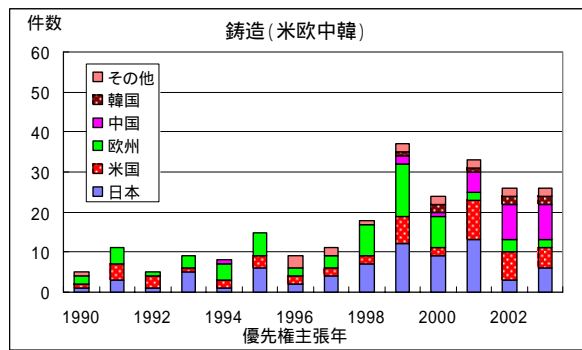
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(2) 技術要素から見た分析

出願特許を技術要素別に分類し、技術内容から特許動向を分析した。

鋳造技術を重力鋳造、射出成形、ダイカスト、連続鋳造、鋳造鍛造、仕上げ加工の6つの技術要素に分類し、更に最近の技術動向に鑑み、ダイカスト、射出成形、鋳造鍛造は、第二分類として、「溶融」と「半溶融・半凝固」2つ技術要素に展開した。また連続鋳造では、鋳造後の板厚に注目して、双ロール、薄厚モールド、DC 鋳造の3つの技術要素に展開した。日本、米国の技術要素の分布を2 - 4 図に掲載する。

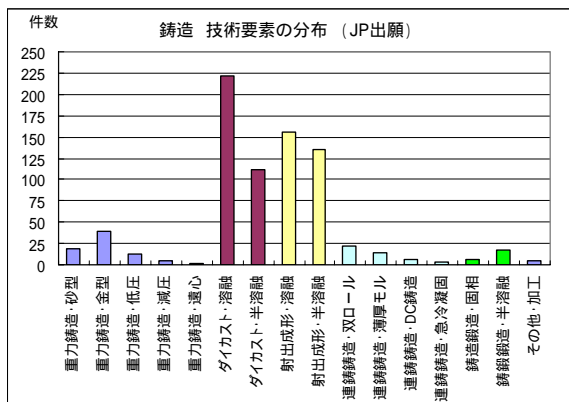
各出願先国ともダイカストと射出成形が大部分を占める。日本ではダイカストと射出成形が拮抗した状態にあるが、米国ではダイカスト比率が高い。図は省略したが、欧州の技術要素の分布は米国の分布とほぼ同じである。

ダイカストでは溶融状態で、射出成形では半凝固・半溶融の状態で注入するのが一般的であるとされてきたが、ダイカストで半凝固・半溶融、射出成形で完全溶融した溶湯を使うこ

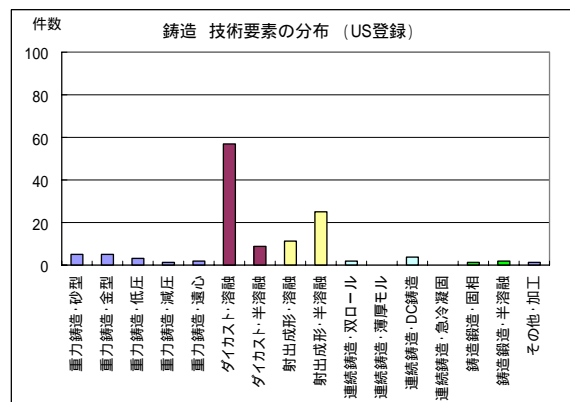
とも多くなっている。特に、欧米に比べると、日本での射出成形は完全溶融を使う方法が主流になりつつある。

第 2 - 4 図 技術要素の分布

(a) 日本



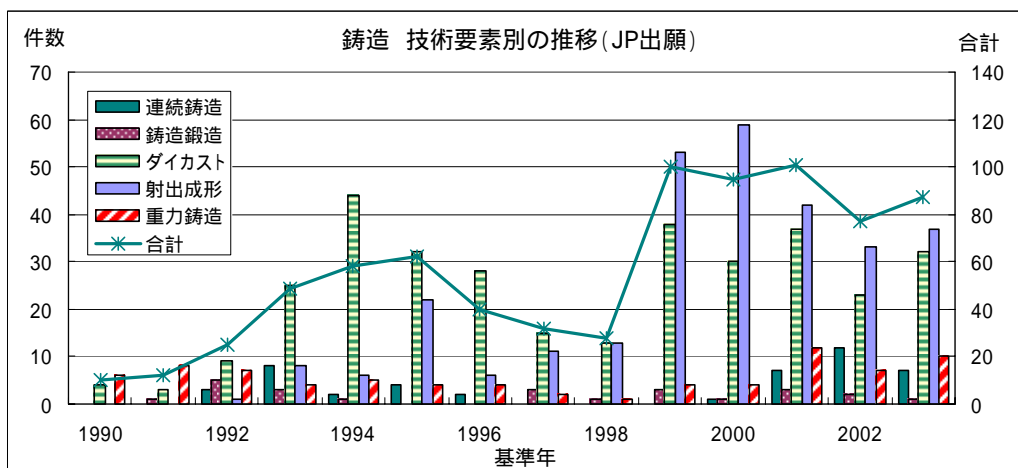
(b) 米国



第 2 - 5 図は日本における技術要素別の出願推移を示したものである。

ダイカストに関する出願は 1994 年にピークに達し、その後減少するものの、1999 年に再度増加し、最近は年間 30 件前後の出願で推移する。射出成形の出願は 1999 年に急増し、以後、ダイカストの出願件数を超える状態が続いている。連続鋳造、重力鋳造の出願は 1990 年初期より認められ、また最近増加傾向にある。米国や欧州では 1998 年頃より射出成形に関する出願が目立つようになるものの、依然ダイカストの出願が優勢である。中国では射出成形、重力鋳造の出願が近年増えつつある。

第 2 - 5 図 日本における技術要素別の出願推移



ダイカスト、射出成形および連続鋳造の 3 つの技術要素について、その出願推移の詳細を第 2 - 6 図に示した。

ダイカストでは溶融が一般的であるが、半溶融・半凝固もダイカスト全体の 33% を占めている。1992 年、1993 年より半溶融・半凝固の出願が目立つようになるが、その先鞭をつけたのが旭テックや本田技研工業などである。射出成形では、2000 年に溶融と半溶融・半凝固の出願件数が逆転した。その後、溶融が半溶融・半凝固を上回る状況が続き、全期間の累計で

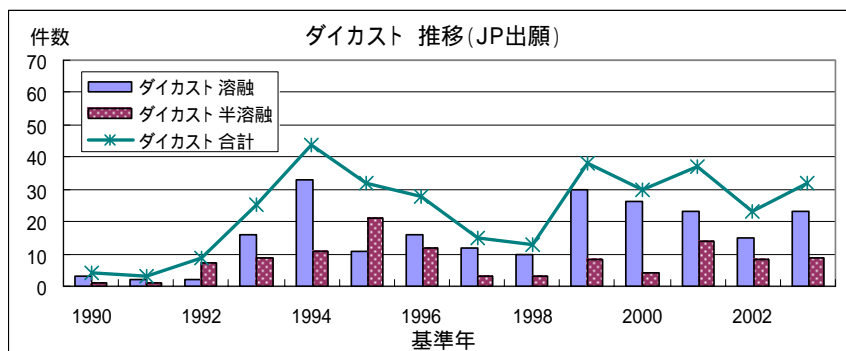
も射出成形全体の54%を占めるに至った。1999年から2001年にかけての半溶融・半凝固射出成形に関する出願の主要出願人は日本製鋼所、日精樹脂工業、松下電器産業などである。

射出成形はMITのフレミング教授(M.C.Flemings)の基本コンセプトに従って、米国のダウ・ケミカル社とバツテル研究所が開発した方法である。チクソモールディングとも呼ばれる。1992年、日本製鋼所が米国のチクソマツ社(Thixomat INC)から技術導入し、実用機の開発を行った。1994年に第1号機が製作され、1996年頃より実際の製品への応用が急速に広がった。日本での出願動向は、このような射出成形機の普及とも一致する。

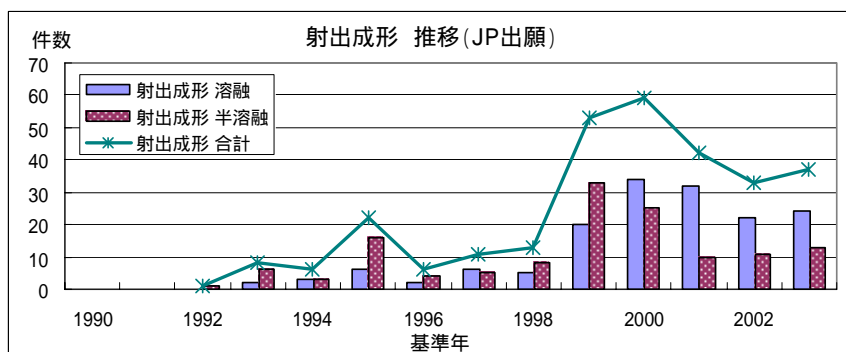
連続鋳造の双ロール法については1990年頃より出願が始まっている。しかし、このころの出願はアルミニウムに関するものであり、マグネシウムの双ロール法の出願は2000年になってからである。薄厚モールド法では2002年の出願が目立つ。薄厚モールド法の特許は住友金属工業からの出願である。

第2-6図 日本における技術要素の詳細推移

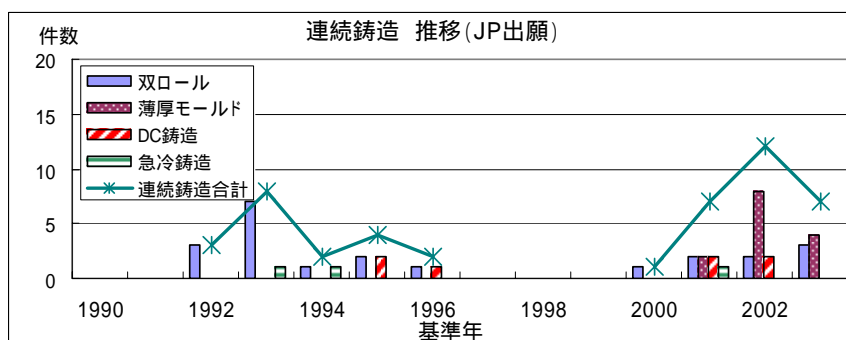
(a) ダイカスト



(b) 射出成形



(c) 連続鋳造



(3) 技術要素と課題の相関

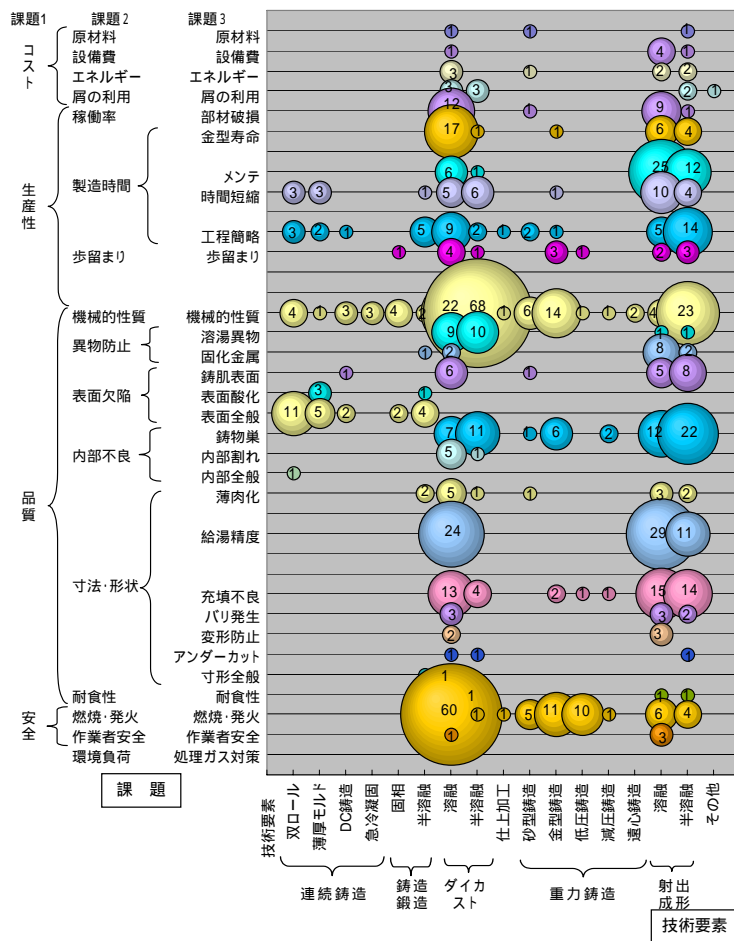
特許が提起する課題を技術要素別に整理した。技術要素と課題の相関を第2 - 7図のバブル図に示した。

ダイカストでは「機械的性質の向上」と「発火・燃焼防止」を課題とする特許が多い。機械的性質の向上はダイカストの半溶融法に集中している。半溶融法を採用することで、微細で均一な鑄造組織を造り強度や靱性の向上を図ろうとする技術開発が活発であることが推察される。発火・燃焼防止はダイカストの溶融法、特にコールドチャンバー・ダイカストに集中している。この課題はマグネシウム固有の問題で、旧来より解決方法を模索してきた問題でもある。一般に大型部材の鑄造にはコールドチャンバー・ダイカストが有利であり、マグネシウムの自動車部品などへの適用拡大を考えると、是非解決しなければならない課題である。

射出成形では、メンテナンス性の向上、機械的性質の向上、給湯精度向上が課題として上がっている。射出成形法は、固体チップを原料として使うことで発火・燃焼防止という課題を一挙に解決したが、寸法・形状や鑄物薬などの内部不良に問題を残し、「給湯精度」の向上が求められている。

連続鑄造の双ロール法や薄厚モールド法では 44%が表面欠陥の防止に関する出願である。連続鑄造、更には連続鑄造圧延プロセスによって大幅な効率化の実現が期待できるものの「表面品質向上」が重要課題として残る。

第2 - 7図 日本における技術要素と課題の展開バブル図



2. 塑性加工分野

(1) 出願推移

対象とした特許件数は日本（JP）139件、米国（US）10件、欧州（EP）15件、中国（CN）18件、韓国（KR）12件の合計194件の特許である。鋳造に比べると出願が少ない。

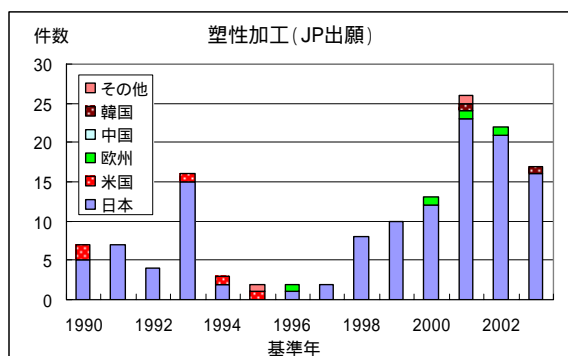
第2-8図に出願先国別の出願推移を示す。

日本では、1994～1997年に特許出願が停滞するが、1998年から出願数が急増する。その主たる出願内容は、携帯電子機器用のマグネシウム合金薄肉筐体のプレス、鍛造技術及びそれに対応したプレス、鍛造用薄板の製造技術、熱間・温間圧延などに関するものである。

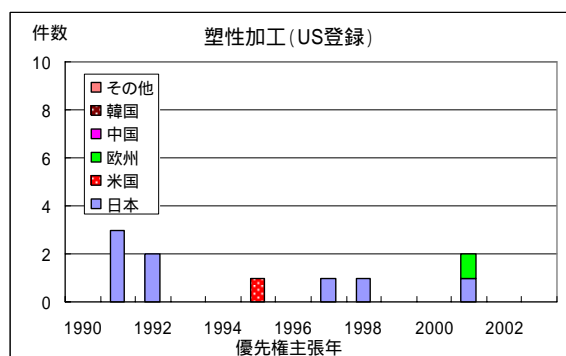
米欧中韓での出願件数は少なく、数件程度の出願で推移している。更に、日本国籍出願人から出願された特許を除くと、「出願がない」といった状況が続いている。ただ、中国だけが増加基調にあり、2002年、2003年と中国国籍出願人からの出願も目立つようになってきた。

第2-8図 出願先国別の出願推移

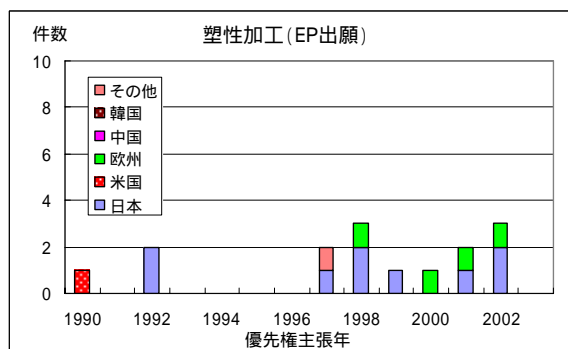
(a) 日本



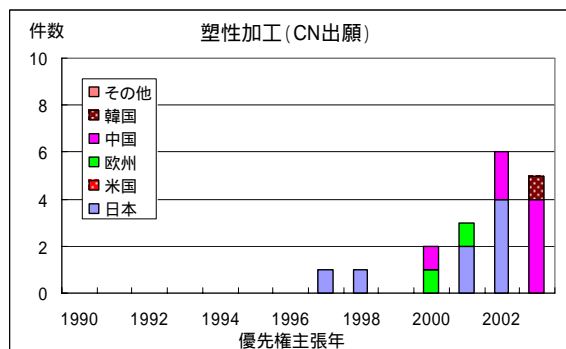
(b) 米国



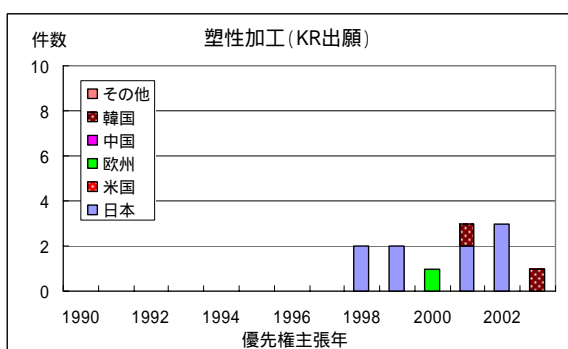
(c) 欧州



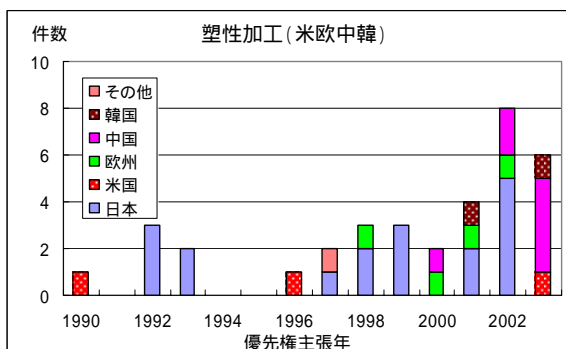
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(2) 技術要素から見た分析

出願特許を技術要素に分類し、その技術内容から特許動向を分析した。

対象特許に含まれる塑性加工法を鍛造、押出、圧延の技術要素に分類し、更に、これらの加工法を詳細レベルの技術要素に細分化した。日本での技術要素の割合と分布を第 2 - 9 図に示す。

「鍛造・鍛造」、「鍛造・素材」、「圧延・板圧延」、「押出・押出」に関する出願が多い。

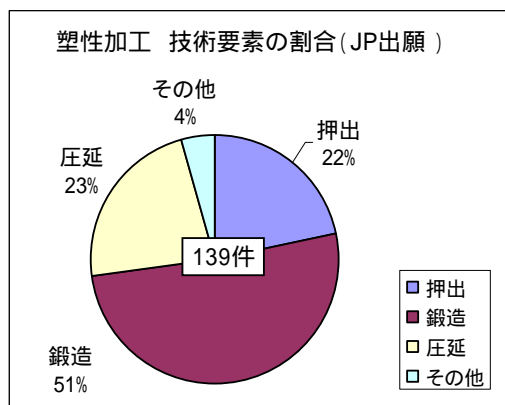
鍛造・鍛造は鍛造加工に関するもので、主体はプレス鍛造（プレスフォーミング）と呼ばれる板鍛造に関する出願である。携帯電子機器の筐体を加工するための技術で、東京精鍛工所、日立金属、ソニーから特許が出願されている。また鍛造・素材は鍛造素材の加熱条件や内部組織の調質に関する技術である。

圧延・板圧延は圧延による板材製造技術に関する出願で、潤滑などに関する内容も含まれている。出願人は住友金属工業、大阪富士工業、日本金属工業などの素材メーカーに加えて、松下電器産業、シャープなどの電子機器メーカーも出願している。

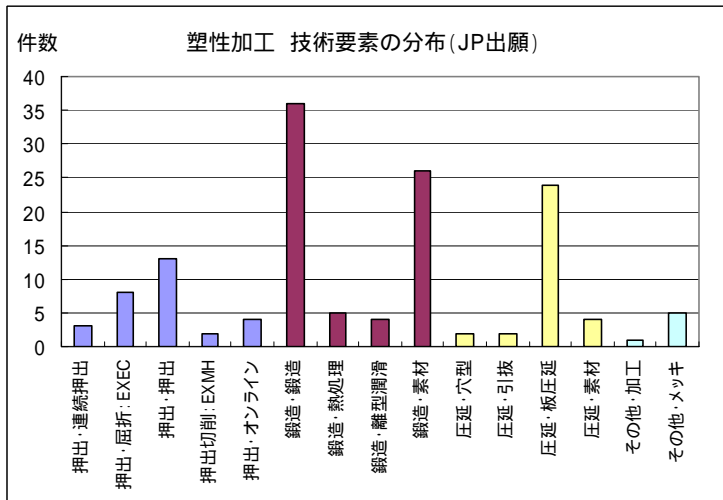
押出・押出は一般的な押出加工法に関するものであるが、超塑性押出や薄板を押出で製造する東洋鋼鈹の出願などが含まれている。

第 2 - 9 図 日本における技術要素の割合と分布

(a) 技術要素の割合



(b) 技術要素の分布



第 2 - 10 図は日本における技術要素の推移を示したものである。

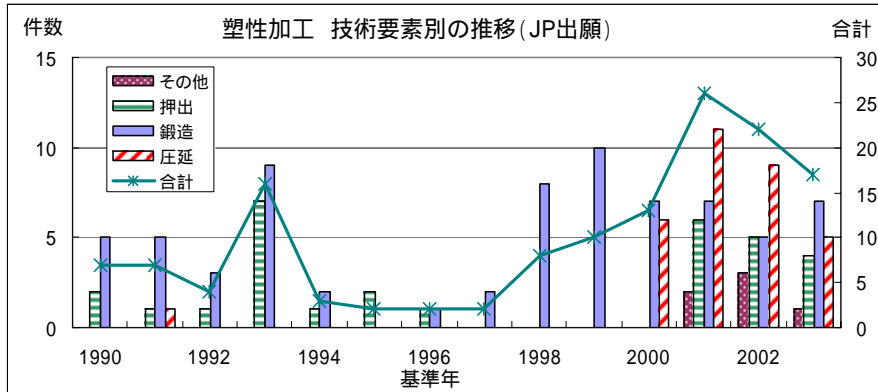
図 (a) は塑性加工全体の推移である。一時、1993 年に鍛造と押出の出願が増えた時期があるものの、塑性加工分野の出願が増え始めるのは 1998 年以降のことである。まず、鍛造に関する出願が活発になり、ついで圧延、押出の特許出願が増加した。

図 (b) の鍛造・鍛造の推移をみると、1998 年からプレス鍛造に関する出願が始まっている。ミニディスク (MD) など電子機器筐体にマグネシウム合金の適用が始まった時期であり、この時期、東京精鍛工所、日立金属、ソニーより積極的な出願がなされた。

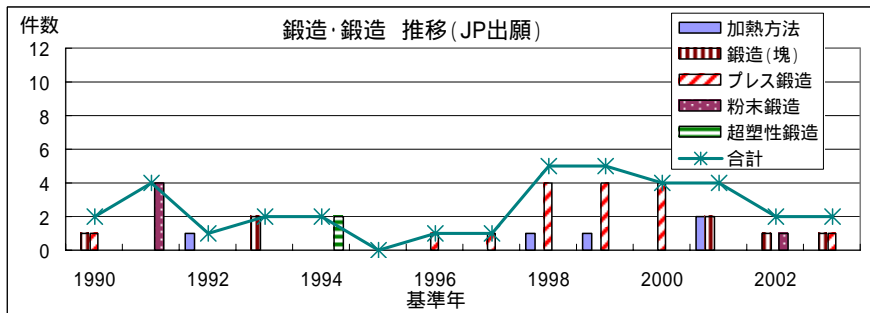
図 (c) には板圧延の推移を示した。過去、この分野に関する特許は皆無であったが、2000 年より板圧延や潤滑に関する出願が始まっている。これは電子機器筐体へのマグネシウム薄板材適用の気運に影響されたもので、住友金属工業や日本金属より出願された特許である。

第 2 - 1 0 図 日本における技術要素の推移

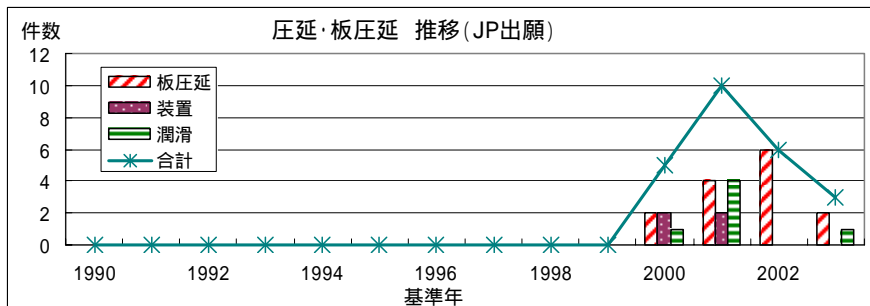
(a) 塑性加工の推移



(b) 鍛造の推移 (要素 2)



(c) 板圧延の推移 (要素 2)



(3) 課題と解決手段の相関

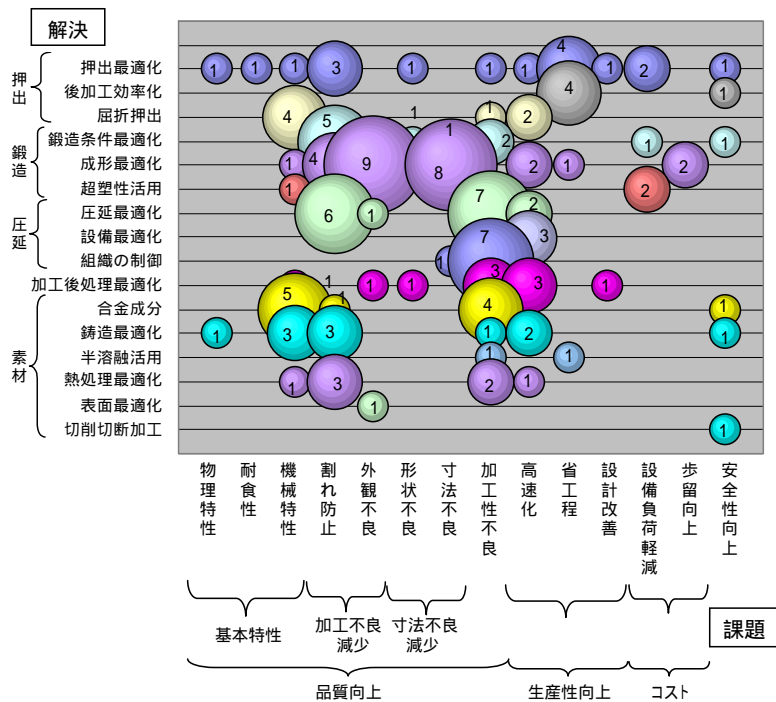
特許が提起する課題と解決手段を整理した。課題と解決手段の相関を第 2 - 1 1 図のバブル図に展開した。

塑性加工では、割れ・外観不良、寸法・形状不良、加工性に関し課題が多く、解決手段として板材の鍛造成形や板材の圧延が挙げられている。

割れ・外観不良や寸法・形状不良の低減対策として、鍛造成形すなわちプレス鍛造の採用が期待されている。割れや外観不良は鑄造起因の表面欠陥に由来するが、比較的高温でメタル流動を伴う加工法であるプレス鍛造は鑄造起因の表面欠陥の圧潰に影響を及ぼすと考えられる。また板材を金型の中に打抜くことでボスやリブを持つ薄肉筐体を成形し、寸法精度の高い筐体を製造することも可能であることが、寸法・形状不良の低減対策としてあげられている理由である。

加工性不良は、HCP(稠密六方晶)結晶構造を持つマグネシウム合金の中心的な課題で、マグネシウム合金の塑性加工には、できるだけ加工性の高い材質、あるいは薄板や線材のように最終製品に近い素材の入手が重要である。薄板圧延に対するニーズは高い。高い加工性を得るための方策として素材の成分設計が有効であるが、再結晶化、等軸晶化、圧延集合組織など圧延組織の制御にも関心が高まっている。また、割れや外観不良の少ない優れた表面品質の板材を製造するためには圧延条件の最適化が重要である。圧延温度、圧下率、潤滑条件などに関する特許も出願されている。

第2 - 1 1 図 日本における課題と解決手段の展開バブル図



3 . 熱処理分野

(1) 出願推移

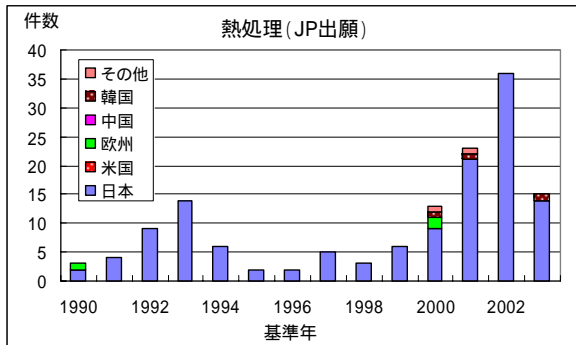
対象とした特許件数は出願先日本 (JP) 141 件、米国 (US) 19 件、欧州 (EP) 26 件、中国 (CN) 21 件、韓国 (KR) 16 件の合計 223 件である。熱処理分野の出願には複数分野に跨る特許が多く、熱処理分野の国内特許 141 件のうち、49 件が塑性加工分野と、18 件が鋳造分野と重複しており、9 件が塑性加工、鋳造分野と 3 重複する特許である。重複率は 54% (海外特許では 46%) に至っている。塑性加工分野とほぼ同じ対象を扱うことになるが、熱処理という視点で分析することにする。

第2 - 1 2 図は出願先国別の出願推移を示したものである。

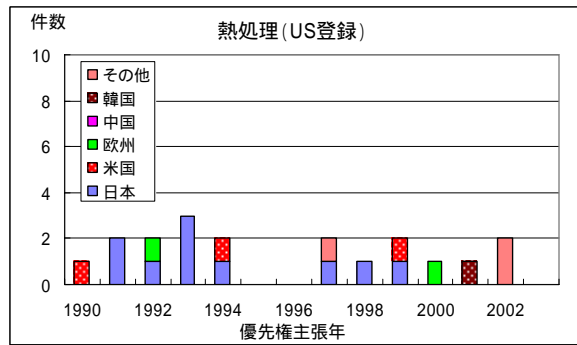
図 (a) の日本での推移をみると、1993 年にピークを示した後、数年間の低迷期があり、2000 年より増加に転じ、2002 年には 36 件の出願を見るに至っている。第5 - 1 図(b) ~ (e) は米国、欧州、中国、韓国での状況を見たもので、日本からの出願が目立つと同時に、各出願先とも数件未満の状態で見られている。ただ中国での推移は 2000 年から増加基調にあり、自国籍出願人からの出願が増え始めている。

第 2 - 1 2 図 出願先国別の出願推移

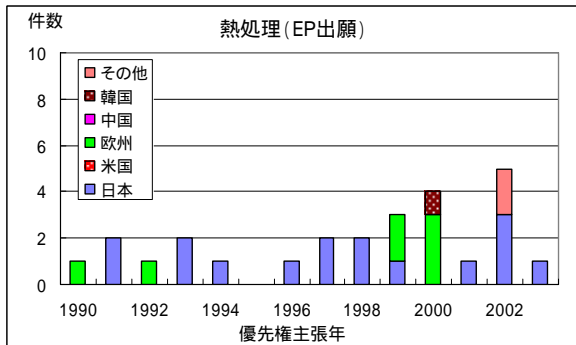
(a) 日本



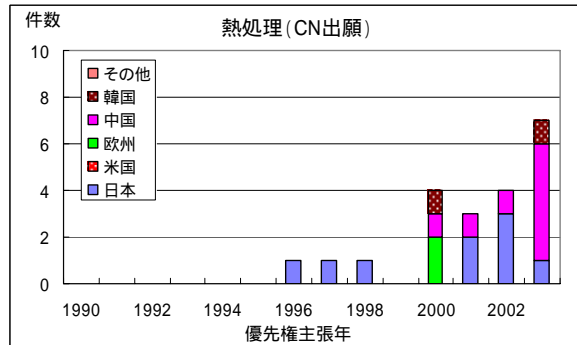
(b) 米国



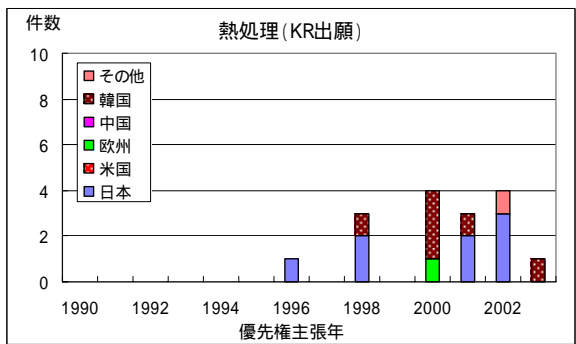
(c) 欧州



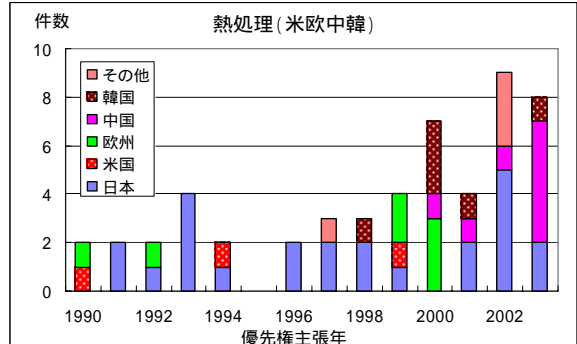
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(2) 技術要素から見た分析

熱処理分野の特許を技術要素に分類し、技術内容を特許動向から分析する。

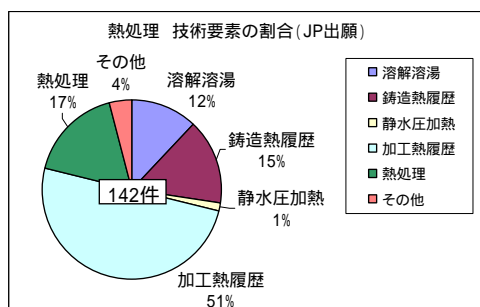
本調査で定義する熱処理は、一般的に使われる狭義の熱処理以外に、合金設計に必要な溶解・溶湯処理での熱履歴、鋳造プロセスにおける熱履歴制御、加工プロセスにおける熱履歴制御など広範囲の技術要素を含んでいる。

第 2 - 1 3 図は日本における 142 件の出願を技術要素で整理した分布図である。

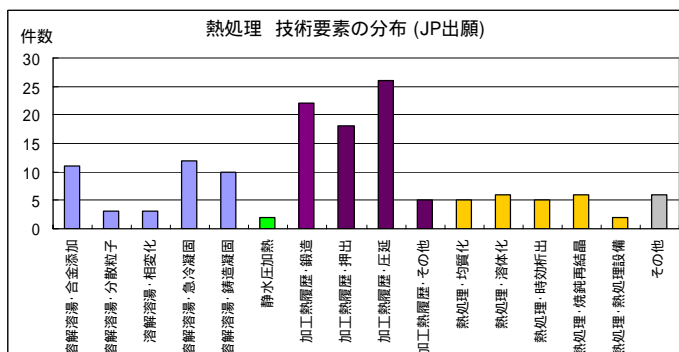
技術要素の割合をみると、日本では加工における熱履歴・制御が多く 51% を占める。米国や欧州では溶解・溶湯処理での熱履歴や鋳造プロセスにおける熱履歴制御に関する出願が多くなっている。日本での加工における熱履歴・制御では、鍛造、押出、圧延での出願件数が拮抗した状態にある。いずれの場合も、加工前後の温度条件や加工温度と加工度（圧下率）を規定する内容の出願である。また、狭義の熱処理では、均質化処理、溶体化処理、時効・析出処理、焼鈍・再結晶に関する特許が出願されている。

第 2 - 1 3 図 日本における技術要素の分布

(a) 技術要素の割合



(b) 技術要素の分布

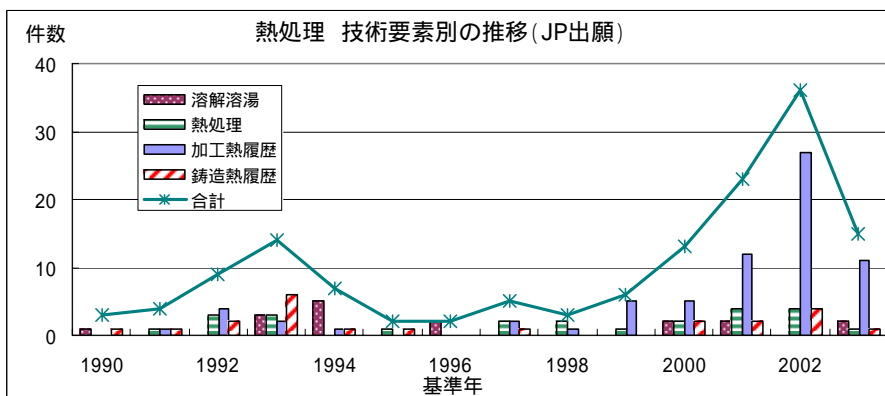


第 2 - 1 4 図は技術要素の推移を示したものである。

1999 年頃より出願件数が急増している。加工・熱履歴制御に関する出願が増えたためである。この時期の主たる出願人は住友金属工業、住友電工スチールワイヤ、東洋鋼鈑などの素材メーカ、東京精鍛工所、日立金属などの加工メーカ及び松下電器産業などの電気・電子機器メーカである。

塑性加工分野の出願が 1998 年から急激に増えたことは既に述べたけれど、再結晶温度以上の温度域での加工が不可欠のマグネシウム合金では、塑性加工分野の出願に連動して、熱処理分野の加工・熱履歴制御に関する特許が増えるのは必然である。

第 2 - 1 4 図 日本における技術要素の推移



(3) 技術要素と課題の相関

技術要素と特許が提起する課題との関係を整理した。技術要素と課題の相関を第 4 - 1 5 図のバブル図に展開した。

熱処理分野では、耐熱・耐クリープ性向上、機械的性質の向上、素材加工性の向上、効率化に課題が集まっている。

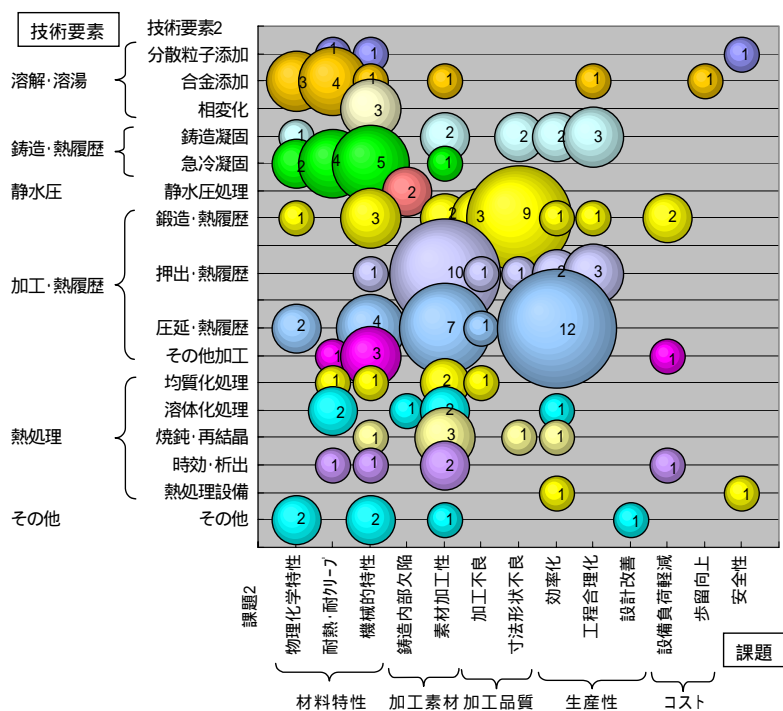
技術要素毎の課題をみていくと、加工・熱履歴の鍛造では寸法形状不良減少に課題が集まる。鍛造には薄板材のプレス鍛造に関する特許が多く含まれており、寸法形状不良減少、具体的には薄板筐体のボスなどの突起加工に課題が集まっている。プレス鍛造ではボスなどの突起加工を施すための加工・熱履歴制御が最重要課題となっている。

押出の中に屈折押出の出願もあり、素材の加工性が要求されている。圧延においても素材

の加工性に課題が集まっているが、加工性を増すことで、圧延中に発生する割れなどの欠陥の防止が要求されているからである。また、圧延では効率化が問題となっているが、この圧延には棒・線・管材の延伸加工に関わる出願が含まれており、素材ロットの大きさが生産性に大きな影響を与えるからである。ただしこれらは熱処理の課題というより、加工技術に関する課題である。

鑄造・熱履歴では、急冷凝固に課題が多い。急冷凝固は溶湯を粉末・リボン・箔状に急冷し、粉末冶金法により素材化する方法で、高強度、超塑性極細粒材製造のための技術である。急冷凝固には耐熱・耐クリープ性、機械的特性など材質特性に関する課題が上がっている。このことは急冷凝固材の採用で機械的特性の向上を図ろうとする試みが行われていることを示唆している。耐熱・耐クリープ性の向上はどの技術要素においても重要であるが、特に、鑄造・熱履歴での急冷凝固や加工・熱履歴の圧延などの技術要素において強度向上の方策が模索検討されている。

第 2 - 1 5 図 日本における技術要素と課題の展開バブル図



4 . 粉末冶金分野

(1) 出願推移

粉末冶金分野の特許出願動向について述べる。

対象となる特許は日本 (JP) 41 件、米国 (US) 10 件、欧州 (EP) 12 件、中国 (CN) 10 件、韓国 (KR) 1 件である。加工や熱処理と比較しても出願件数が非常に少ない。これは、マグネシウムを粉末にすると発火・暴発の危険が高くなり取り扱いが難しくなることが影響していると考えられ、マグネシウムの粉末冶金に関する技術者や研究者の基盤層が薄いことを意味している。出願件数などデータの母集団が少ないため、十分な分析ができないが、出願件数推移などに絞り、整理していくことにする。

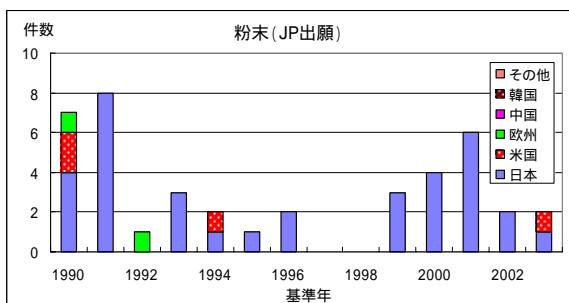
第 2 - 1 6 図は出願先国別の件数推移を示したものである。

日本での推移を見ると、1990年、1991年にまとまった出願があったが、その後長らく低迷期が続いた。1999年ごろより出願が増加し始める傾向にはあるが、その件数は数件未満である。出願内容には時期による明確な特徴は見当たらないが、2001年以降の最近の出願にはマグネシウム合金素地中にナノ粒子を分散させるマグネシウム基複合材料に関するものが目立つようになってきた。

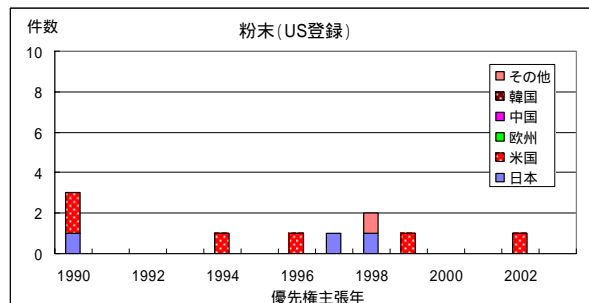
米国、欧州では「出願が点在する」と形容したほうがよいような状況である。中国では2002年、2003年と自国国籍出願人による出願があったが、これは中国材料開発の動向を反映したものかどうか、もうすこし時間が経たないと判断としない。

第2-16図 出願先国別の件数推移

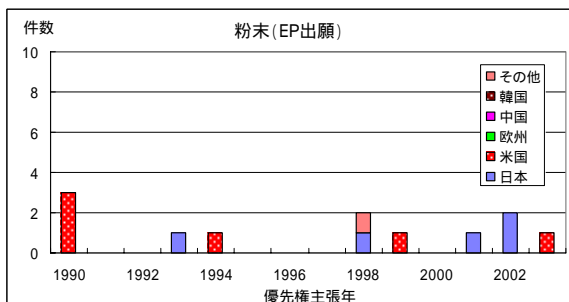
(a) 日本



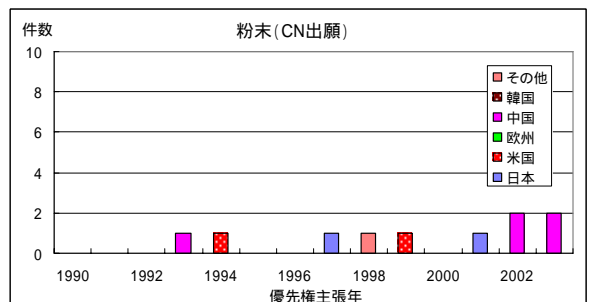
(b) 米国



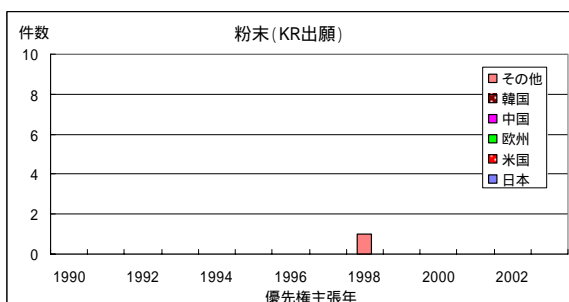
(c) 欧州



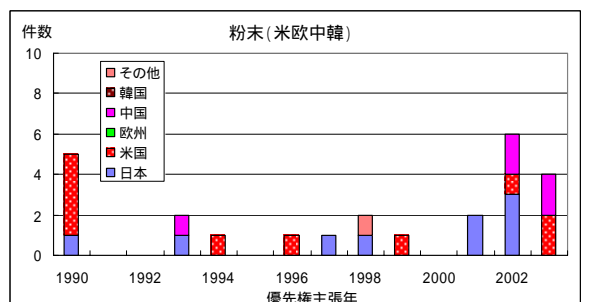
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(2) 技術要素から見た分析

対象データを技術要素に分類し、技術要素から特許動向を見る。

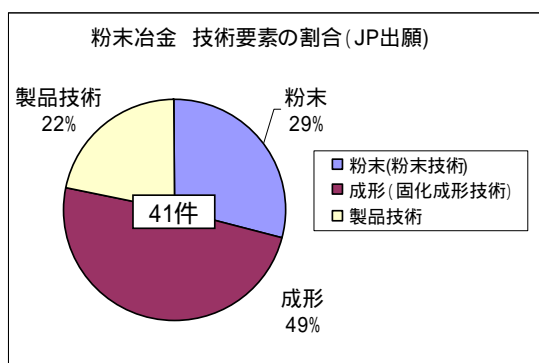
技術要素として、粉末技術、固化・成形技術、製品技術に大別した。粉末技術には合金系などの粉末設計や粉末の安全性に関する技術が含まれる。固化・成形技術には粉末分散粒子を溶湯添加するコンポキャスト、強化材プリフォームに溶湯を浸透させる溶湯浸透法、及び焼結法が含まれる。製品技術は発泡材料など粉末冶金の利点を生かした技術である。

第2 - 17図に技術要素の割合と分布を示した。

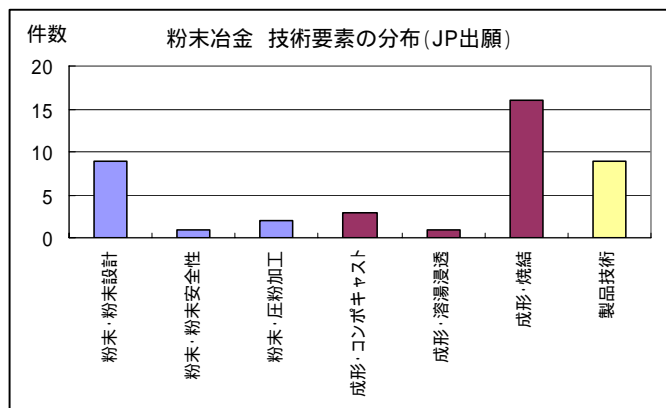
固化・成形技術に関する出願が多い。中でも焼結法に関し16件の出願があり、全体の39%を占める。具体的には粉末同士の摩擦により酸化膜を破壊する方法、粉末表面を均一に酸化して固化成形する方法、固相反応を利用した強化粒子の微細分散技術が含まれている。

第2 - 17図 日本における技術要素の割合と分布

(a) 技術要素の割合



(b) 技術要素の分布



全体としてみると、他分野に比較して出願件数が少なく、商品化、市場開拓に対応した特定分野への出願傾向が認められない。これは、マグネシウム、マグネシウム合金粉末冶金材が研究開発段階にあることを示している。

5. 表面処理分野

(1) 出願推移

対象特許は日本 (JP) 338 件、米国 (US) 98 件、欧州 (EP) 139 件、中国 (CN) 84 件、韓国 (KR) 62 件の合計 721 件である。

第2 - 18図は出願先国別の件数推移を示したものである。

日本においては、表面処理分野の出願は、1999年より急激に増加した。1990年前期には20件未満で推移していた年間件数が2001年には57件の出願を見るに至った。

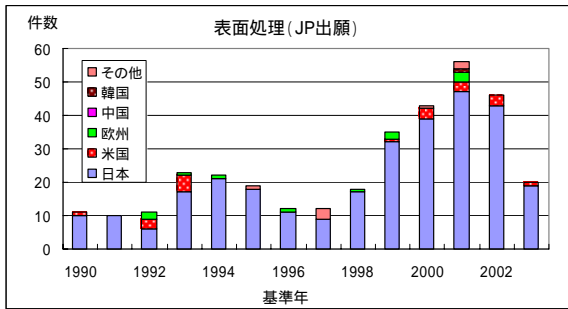
米国における出願動向は低調である。欧州の出願件数は日本の25%程度で推移しており漸増傾向にある。米国国籍出願人からの出願が増えたことも影響し、1998年から増加基調が明瞭になってきている。中国や韓国での出願はまだ件数が少ないが、1998年ごろより増加し始めている。

主たる出願人は、日本では、日本パーカライジング、日本ペイントの薬剤メーカーや神戸製鉄、新日本製鉄などの素材メーカーである。1998年以降、日本ペイントからの出願が増えている。素材メーカーからの出願は1990年代前半期(1993年頃)に偏在するが、これらは主として自動車用アルミニウム合金の表面処理として出願された特許である。最近では、携帯電子機器筐体の表面処理の関係で、富士通、松下電器産業など電気・電子機器メーカーからの出願も目立つようになってきている。

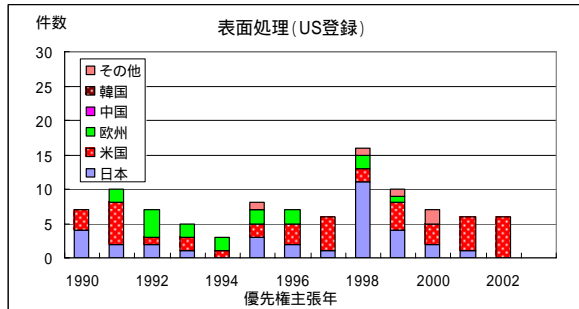
また、国際的な出願人としては、米国及び欧州のヘンケル社 (HENKEL CORP, HENKEL KGAA) が著名であり、日米欧中韓への積極的な出願を行っている。

第 2 - 1 8 図 出願先国別の件数推移

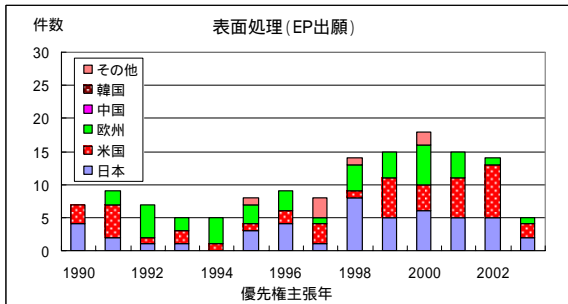
(a) 日本



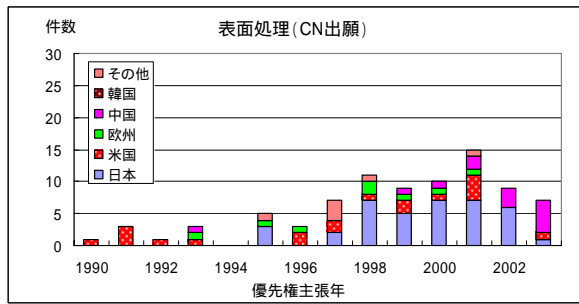
(b) 米国



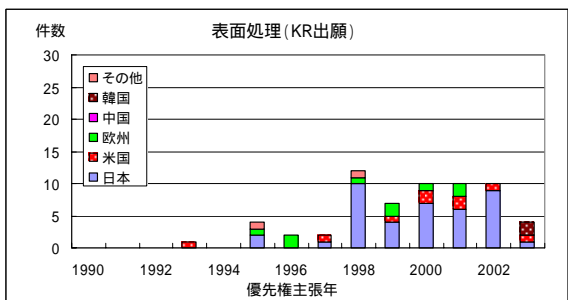
(c) 欧州



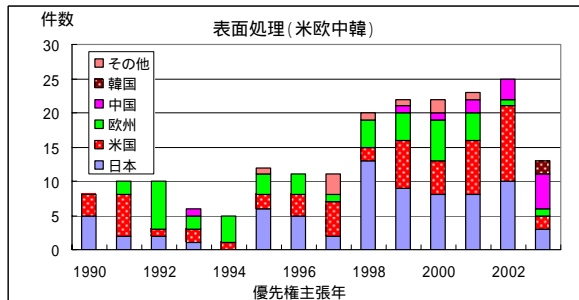
(d) 中国



(e) 韓国



(f) 米欧中韓



(2) 技術要素から見た分析

出願特許を技術要素に分類し、技術内容から特許動向を分析した。

本調査では塗装工程は対象外であるので、前処理の代表であるエッチング、塗装下地処理の化成処理および陽極酸化の3つの技術要素に着目して分析した。

いずれの処理法においても採用される処理液が重要である。従来はクロム酸系(6価クロム)の処理液が広く用いられてきたが、地球環境負荷軽減という視点からクロメートフリーの処理を施すことが増えてきた。第2の技術要素として化成処理、陽極酸化を処理液の点から分類することにする。エッチングに関しては酸エッチング、アルカリエッチング、物理研磨に分類する。

日本と欧州での技術要素の割合と分布を第2-19図に示す。

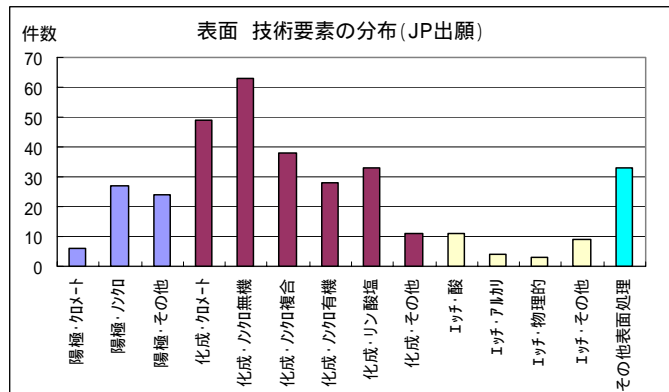
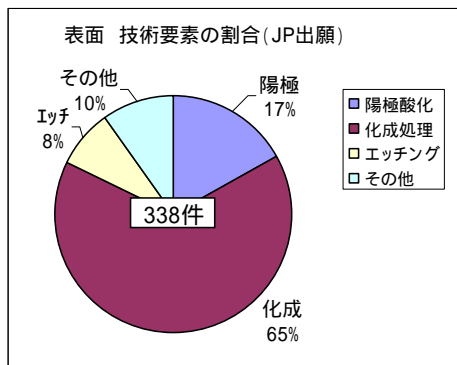
技術要素で見ると各出願先国とも圧倒的に化成処理の割合が高く、欧州では80%近くを占めている。これは、コストパフォーマンスおよび作業性に優れた化成処理が特許出願でも表面処理の主役をなしているということの現れである。化成処理の中ではノンクロメート処理が多い。中でも無機系化成処理の割合が高い。特に欧州ではノンクロメート無機系化成処理の割合が高く、無機系化成処理に特化した感がある。基本的には、無機系化成処理への集中は

日米欧中韓とも同じであるが、日本では、338 件の出願のうち、クロメート処理が 14% 残り、ノンクロメート複合処理が 11%、ノンクロメート有機処理が 8% を占めるなど、採用されている処理方法は比較的多様である。

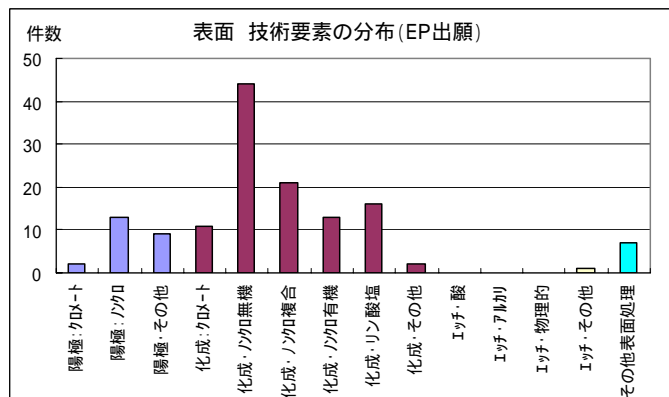
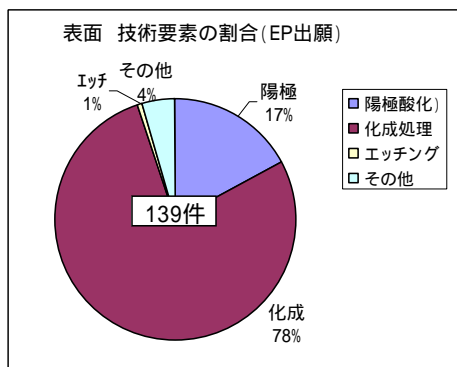
また陽極酸化も日本では 17% を占め、欧州に比べると高い割合を示している。日本における多彩な表面処理技術を反映した結果であると考えられる。

第 2 - 1 9 図 日本と欧州における技術要素の割合と分布

(a) 日本



(c) 欧州



第 2 - 2 0 図に日本における技術要素ごとの出願推移を示した。

表面処理分野全体の推移、図 (a) を見ると、1990 年代前期に化成処理による緩やかなピークがあり、1999 年ごろより化成処理、陽極酸化とも急激に出願が増えている。1999 年というのは、ノートパソコン、携帯電話などの電子機器筐体にマグネシウム合金が利用されるようになり始めた時期であり、携帯電子機器筐体の耐食性、耐摩耗性、美観などの表面品質が課題となり始めた時期と符合する。

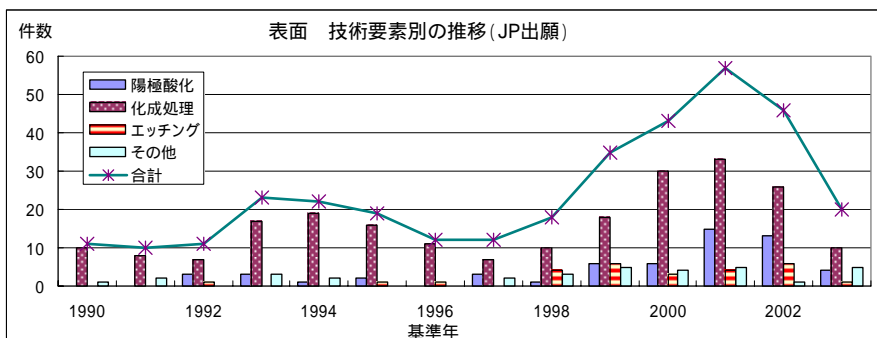
化成処理の推移、図 (b) に注目すると、1990 年前期には数件以上の出願があったクロメート処理は、1996 年以降出願が減少する。逆に、1998 年、1999 年よりノンクロメート無機系化成処理に関する出願が伸びており、2002 年には 14 件に達している。この前後の時期からノンクロメート複合処理や有機処理の出願も目立つようになり、無機系化成処理を中心にノンクロメート処理に関する出願が急激に増えた。ノンクロメート処理の一つであるリン酸塩処理は 1990 年前期に積極的に出願されているが、これは自動車における鉄 - 非鉄(アルミニウム)接合部の耐食性に関する特許として出願されたものである。

また、欧州ではノンクロメート無機系化成処理が一般的で、1990年代初期より出願されている。

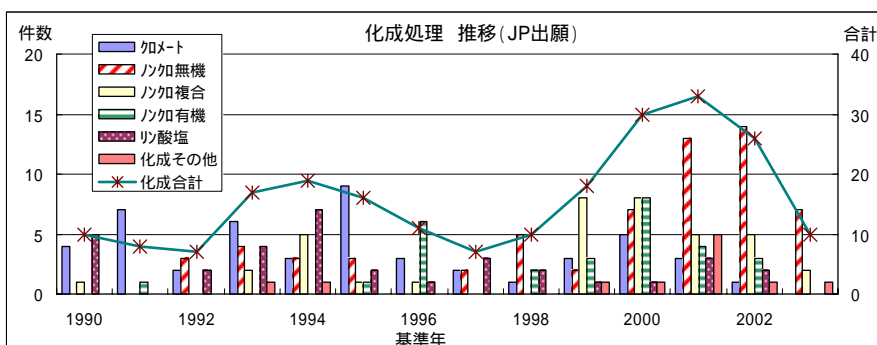
陽極酸化の推移、図(c)についてみると、2000年ごろよりノンクロメート系処理の陽極酸化に関する出願が伸びている。これは携帯電子機器筐体へのマグネシウム合金の適用拡大に伴って、皮膜生成自由度の高い陽極酸化が積極的に検討された結果でもある。2000年以降の出願には封孔処理や後処理に各種無機物を塗布させて高機能化や高意匠化を狙う特許が含まれるようになる。

第2-20図 日本における技術要素の出願推移

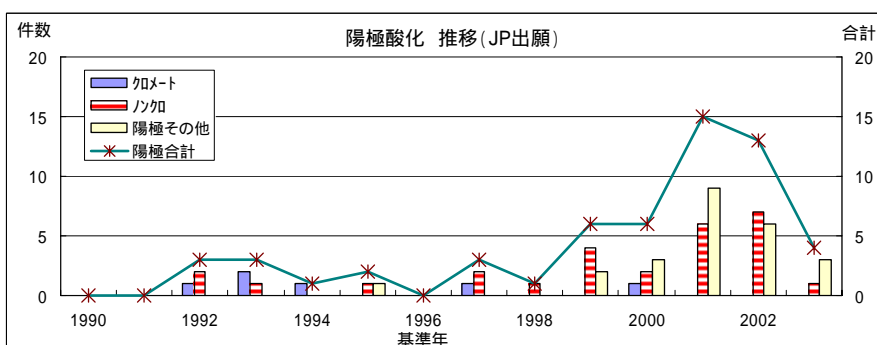
(a) 表面処理全体



(b) 化成処理



(c) 陽極酸化



(3) 技術要素と課題の相関

特許が提起する課題を技術要素別に整理した。技術要素と課題の相関を第2-21図のバブル図に示した。

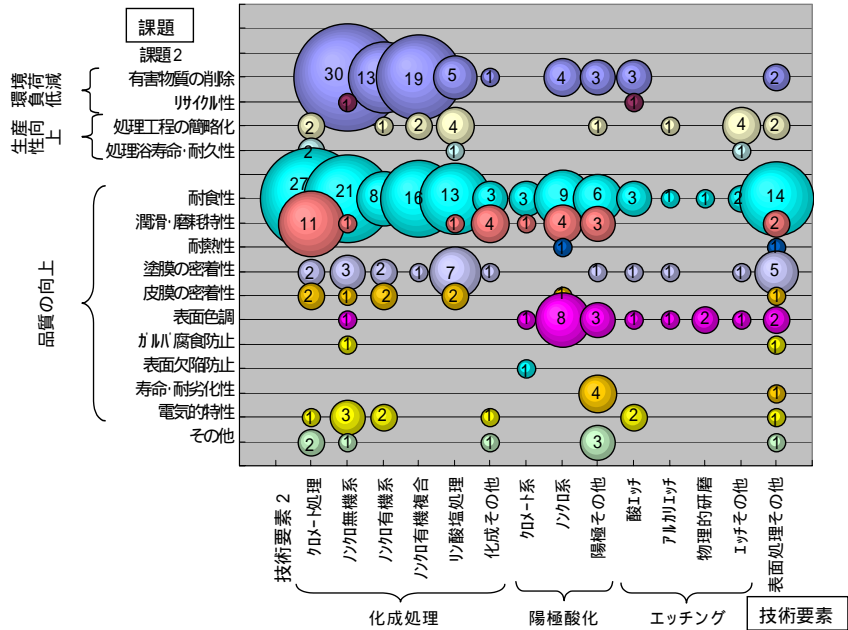
日本では耐食性、有害物質の除去、潤滑・磨耗特性、色調変化に課題が集まっている。特に耐食性については全体の37%を占め、クロメート処理とノンクロメート無機系に集中して

いる。逆な見方をすれば、耐食性の向上のためにはクロメート処理であり、ノンクロメート処理のなかでは無機系が重要であることを意味している。ノンクロメート系有害物質の除去は全体の 24%を占める。当然のことながらノンクロメート系での最重点課題である。また、クロメート処理には潤滑・磨耗特性の向上という課題があるが、これはすべての皮膜に共通の課題で、加工が難しいマグネシウム合金にとっては重要な問題である。今後、主流となるノンクロメート系の皮膜にとっても重要課題として顕在化するものと考えられる。

表面色調は陽極酸化での課題である。陽極酸化では無塗装で且つカラー光沢からつや消しまでファッションニーズを満足する皮膜の開発が行われつつあるが、これはそのような開発動向を反映したものである。

米国や欧州では、有害物質の削減に課題が集中している。米国では 59%、欧州では 45%を占め、最重要課題である。欧州は6価クロムなどの有害物質の使用を規制するELV指令(End-of life Vehicle)やRoHS指令(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electric equipment)を発効し、環境負荷物質の低減に取り組む欧州の姿勢を示している。

第 2 - 2 1 図 日本における技術要素と課題の展開バブル図



第3節 注目テーマの動向

1. 注目テーマ

技術分野ごとに「技術要素と課題」あるいは「課題と解決手段」の相関分析」を行なうことで、それぞれの分野が抱える重要課題、すなわち注目テーマを選んだ。

主要テーマは以下の8件である。

ダイカストにおける発火・燃焼防止技術

射出成形における溶湯計量の最適化

板材製造のための連続鋳造

マグネシウム合金薄板の製造技術

マグネシウム合金薄肉筐体のプレス鍛造による成形技術（含む潤滑）

高強度マグネシウム合金の製造法

マグネシウム合金ノンクロメート化成処理（無機系）

マグネシウム合金の陽極酸化

は鋳造分野から、は塑性加工分野から、は熱処理分野から、は表面処理分野から選んだ注目テーマである。注目テーマ選定の理由とその重要性を議論し、今後の展望および提言へと繋ぎたい。

2. 技術分野別の動向

（1）鋳造分野

マグネシウムの固有特性として酸素との親和力が強く、溶湯が空気中の酸素と化合して燃焼発熱を連鎖し、一度発火すると消火が困難である。「発火・燃焼防止技術」はマグネシウムが発見されたときからの課題で、この問題が、製造技術上、マグネシウムを「扱いづらい材料」としている大きな要因の一つである。分析のなかでも、「発火・燃焼防止技術」について、国内特許と外国特許合わせての126件の出願があった。

発火・燃焼防止について多くの対策が取られてきているが、最も効果があったのは射出成形機の発明である。これは固体チップを直接装置に挿入することで、溶湯が大気に暴露されることを防止したものである。射出成形で発火・燃焼を課題とするものは非常に少なくなっている。しかし、ダイカストではこの課題が依然として残ることは第2-7図の「技術要素と課題の展開バブル図」に示したとおりである。給湯装置の開発、カバーガスやカバーフラックスの開発など様々な技術開発が行われてきているが、決め手となる解決手段は現れていない。ダイカストは自動車など大型部品の成形に不可欠な鋳造法であるだけに、今後、一層の技術開発が必要である。

射出成形では、射出時の溶湯計量の精度が問題になっている。第2-7図に示したとおりである。溶湯の計量精度が溶湯の鋳型内充填度を支配し、製品の寸法形状や表面欠陥に影響するからである。半熔融金属の射出成形から始まった技術が完全熔融金属の射出成形へと開発が進みつつある現在、キーとなる技術ポイントは射出シリンダー内での溶湯計量の精確度向上である。

連続鋳造法に関する出願も多い。特に、連続鋳造・圧延連続プロセスによる板材の製造が期待できる双ロール法や、薄厚モールド法での出願が増えている。携帯電子機器の筐体は射出成形やダイカストで製造されているが、鋳造による成形では超薄肉化の要請に応えることが困難になってきており、薄板材からプレスや鍛造による成形が望まれている。1999年、ミ

ミニディスクの筐体向けに「プレス鍛造」技術が出現したことで、板材からの成形に対する期待感が一気に広がった。それと同時に、「品質に優れた安価な板材の供給」が注目されるようになってきている。第2 - 6 図に示したように、双ロール法や、薄厚モールド法で 2000 年以降出願が増えているのは、このような技術トレンドの反映であると考えられる。

(2) 塑性加工分野

1998 年に入ってミニディスクの筐体がプレス鍛造(プレスフォーミング) という新しい成形法で製造されるようになり注目を集めた。従来、携帯電話、デジカメ、ノートパソコンなど携帯電子機器の筐体はダイカストなどで作られることが一般的であったが、このとき以来、プレスや鍛造など塑性加工法の持つ生産性、製品精度が改めて見直されるようになった。これに呼応して、プレスや鍛造の素材となるマグネシウム合金の薄板材を安価に製造するための技術開発も積極的に行なわれるようになってきた。

第一の「マグネシウム合金薄板の製造技術」というテーマは、品質に優れた安価な板材の供給のための塑性加工分野からのアプローチであり、鑄造分野のテーマ「板材製造のための連続鑄造」と一対をなすテーマである。

第二の「マグネシウム合金薄肉筐体のプレス鍛造による成形技術」は板材の成形加工に関するテーマで、潤滑の問題も含めプレス鍛造を中心課題としている。

(3) 熱処理分野

熱処理分野では耐熱・耐クリープ特性、機械的特性、素材加工性に課題が集まっている。耐熱・耐クリープ特性は、自動車部品への適用を考える上で、重要な研究開発課題ではあるが、ここでは、最も出願の集中した「高強度マグネシウム合金の製造法」を主要テーマとして選び、熱処理の視点から分析を行なった。粉末冶金材料も含め、急冷凝固・高強度合金材、非晶質合金・高強度材、分散複合材料などが取上げられている。

(4) 表面処理分野

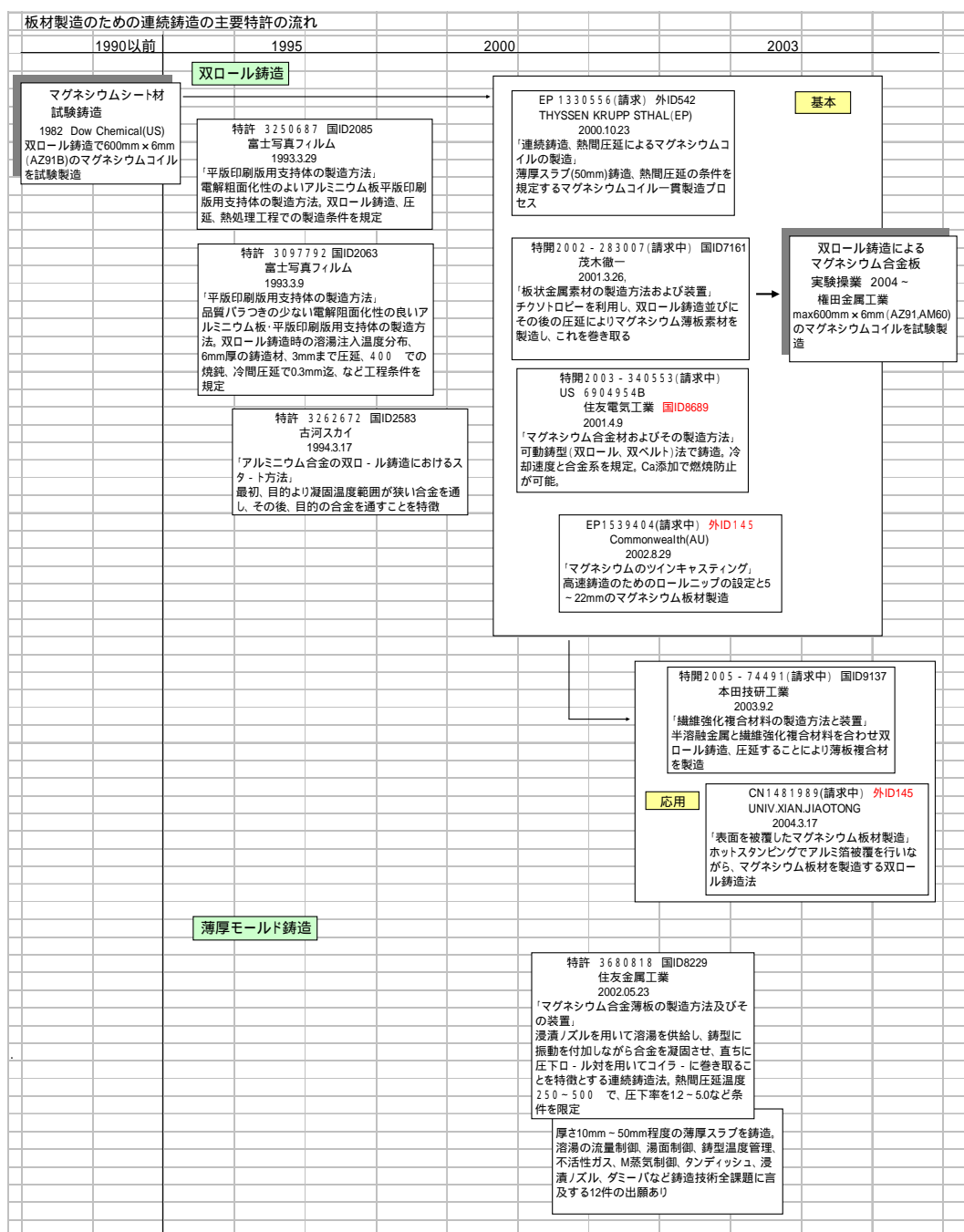
マグネシウム合金の表面処理では、クロメート処理を前提に、耐食性、塗装密着性、コストに優れた処理法が開発されてきた。欧州では 2006 年から、環境負荷軽減の観点から、6 価クロムの使用が禁止される。表面処理分野において最重要課題はノンクロメート化成処理の確立である。化成処理には耐食性、有害物質の除去、潤滑・磨耗特性、色調など複雑な課題の解決が要求される。現在、種々の処理液が開発され提案されているが、まだクロメート処理を凌駕する処理法は現れていない。「マグネシウム合金ノンクロメート化成処理(無機系)」というテーマは、今後とも継続して開発せねばならない課題である。

携帯電話、ノートパソコンなどマグネシウム合金が身近に使われるようになってきて、筐体にファッション性が要求されるようになってきている。陽極酸化は厚い皮膜の生成が可能であるばかりでなく、ニーズにあった色合いや光沢など多彩な表現が可能であるとされる。このような視点から第二のテーマとして「マグネシウム合金の陽極酸化」を選んだ。処理液の変更、パルス電解など電解条件を工夫する陽極酸化など新しい方法が提案されている。今後の開発が期待されている分野である。

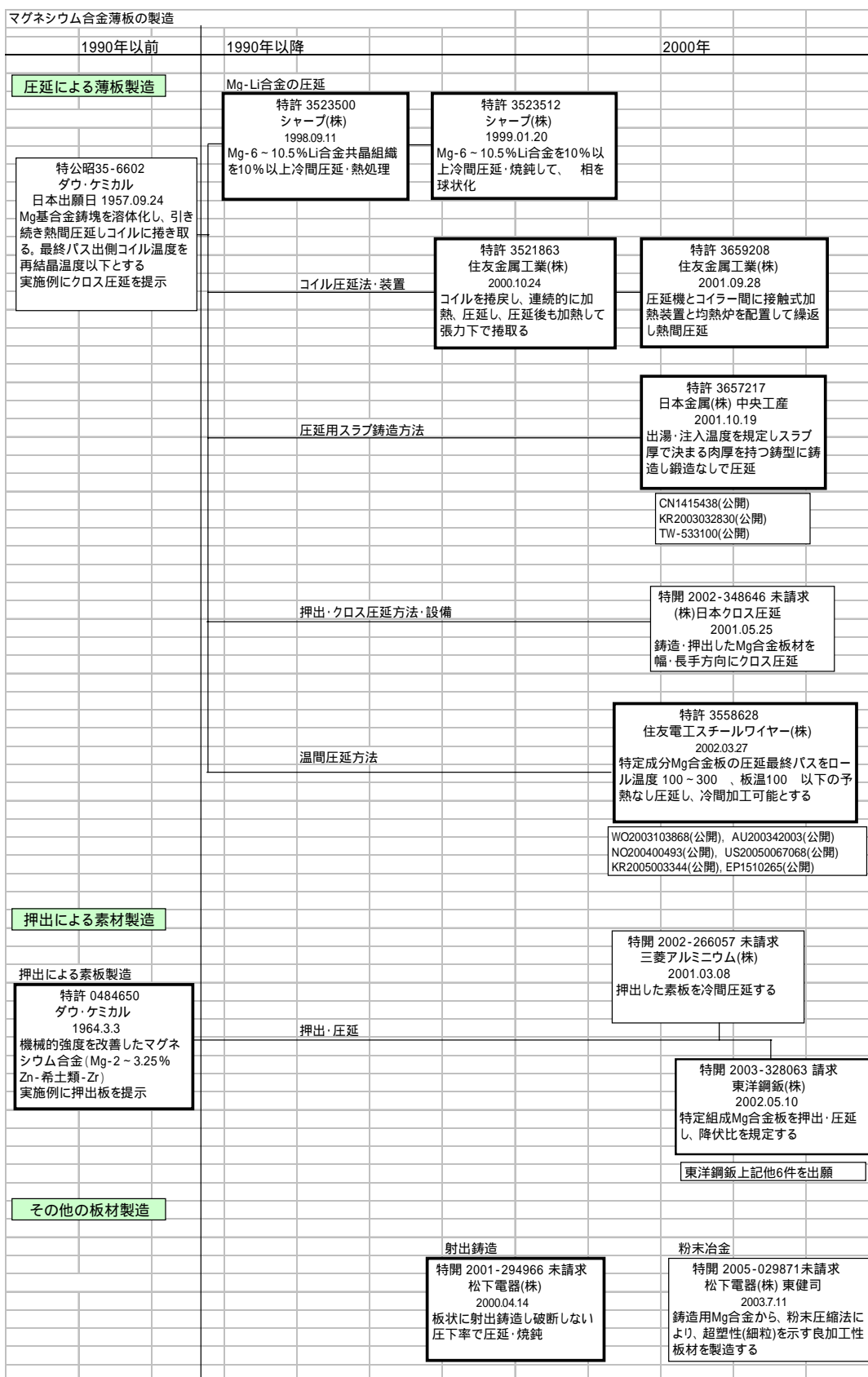
3. 特許系統図

マグネシウムの用途が拡がり、我われの生活の中に広く普及するためには、高品質のものを高効率に造り込む生産技術の開発と確立が必要である。高品質、高効率の生産技術という視点から考えると、8件の注目テーマの中でも、板材製造のための連続鋳造、マグネシウム合金薄板の製造技術、マグネシウム合金薄肉筐体のプレス鍛造による成形技術(含む潤滑)が重要である。2000年前後から出願が増えており、今後の開発動向を注視しなければならないテーマである。この3件の主要テーマについて重要特許の系統図を整理した。第2-22図、第2-23図、第2-24図に示す。

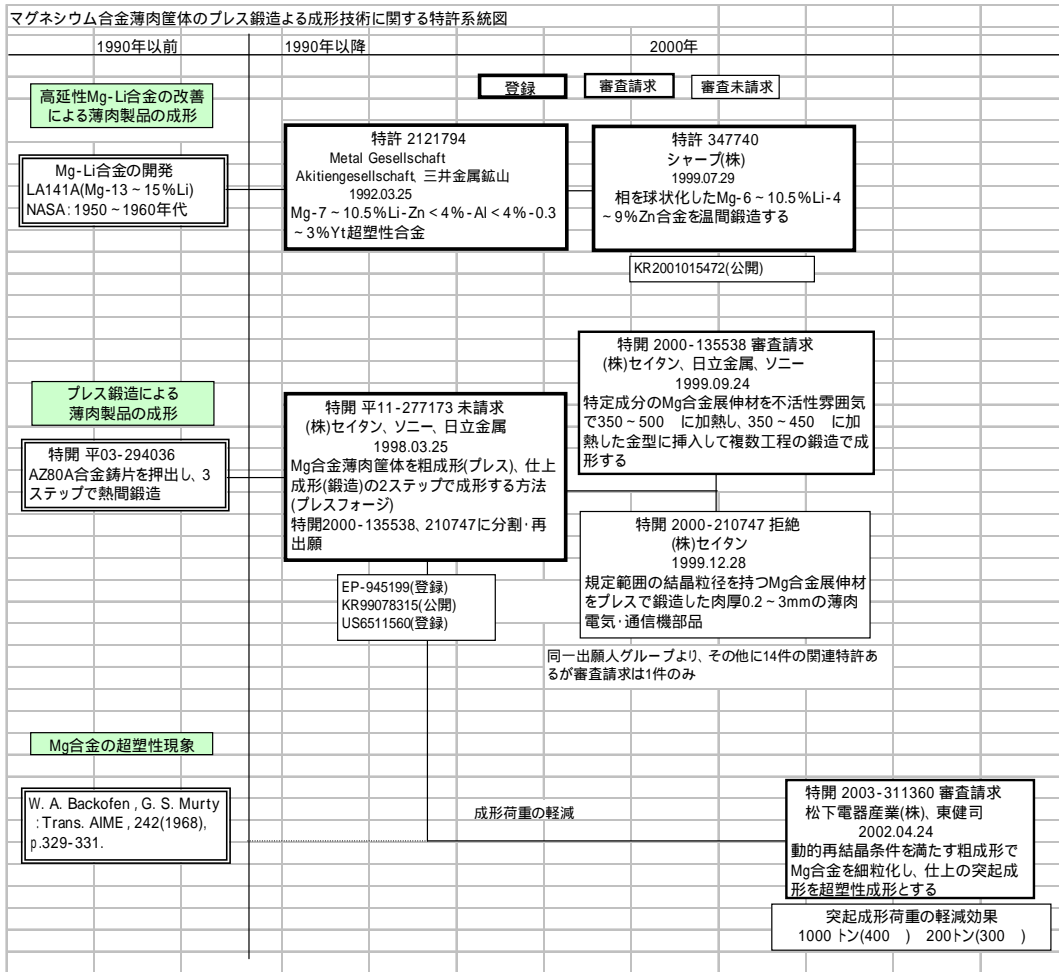
第2-22図 板材製造のための連続鋳造 特許系統図



第 2 - 2 3 図 マグネシウム合金薄板の製造技術 特許系統図



第 2 - 2 4 図 マグネシウム合金薄肉筐体のプレス鍛造による成形技術 特許系統図



第3章 研究開発動向

第1節 全体動向

1. 文献調査(非特許文献調査)の範囲

非特許文献から「マグネシウム合金構造材料の製造技術」に関する研究開発動向を探るために、マグネシウム関連記事の掲載頻度の高い論文誌を、欧米誌 11 誌、国内誌 12 誌を選び、その中からマグネシウム製造技術及び材料に関する文献データを収集した。動向分析に供した論文誌ならびに文献件数を第3 - 1 表に掲載する。

第3 - 1 表 分析対象とした論文誌と文献件数

欧米誌		国内誌	
論文誌名称(略称)	件数	論文誌名称(略称)	件数
SAE Tech Pap Ser	148	Mater Trans	190
Proc Annu Meet Int Magnes Assoc	184	軽金属	258
Mater Sci Eng A	230	素形材	55
Magnes Technol (TMS)	262	型技術	48
Light Met Age	65	塑性と加工	42
Die Cast Eng	40	塑性加工シンボ	54
J Mater Sci	91	まてりあ	56
SCR Mater(SCR Metall Mater)	186	アルミニウム研究会誌	48
Mater Sci Technol	74	表面技術	48
Met Finish	22	塗装技術	43
Corros Sci	36	アルトピア	105
		プレス技術	38
【欧米11誌合計】	1338	【国内12誌合計】	985
【欧米10誌合計】(TMS除く)	1076		

(注 1)調査対象期間は 1990 年 1 月 ~ 2005 年 9 月

2. マグネシウム関連文献件数の推移

第3 - 1 図は、マグネシウム関連文献の推移と掲載割合を示したものである。データは欧米 10 論文誌と国内 12 論文誌のデータである。

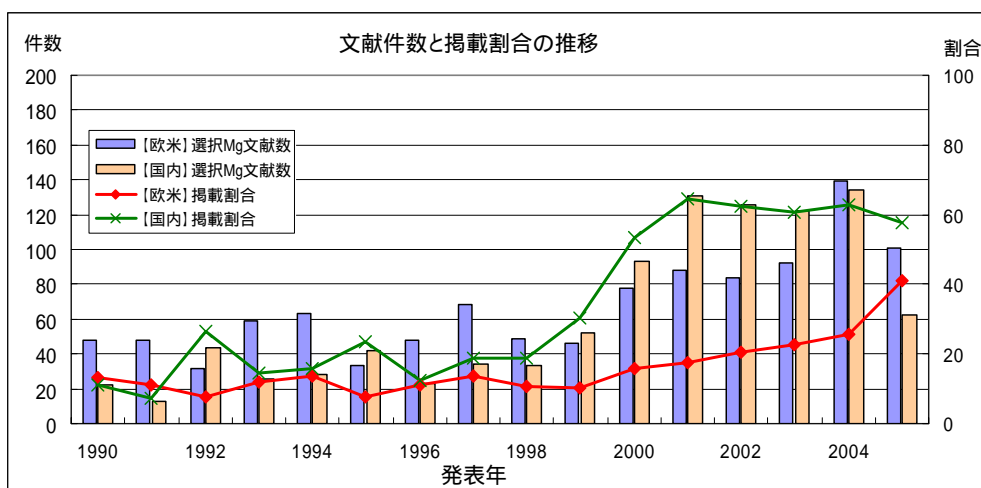
日本、欧米とも、文献件数は 2000 年を境に、急に増加しており、マグネシウム製造技術あるいはマグネシウム材料に関心が高まっていることがわかる。

日本での文献発表件数(国内誌)の推移は、特許出願のトレンドと同じである。特許出願が 1 年ほど先行するものの、1999 年あるいは 2000 年に、急に件数が増加し始め、その後一定水準を保つというパターンは全く同じである。また、欧米(欧米誌)では日本ほど顕著でないにしても、文献推移は 1999 年ごろより漸増に転じており、そのパターンは欧州の特許出願のパターンと類似している。

第3 - 2 図は、欧米 10 誌(TMS 除く)1076 件のデータを整理し、米国、日本、中国、ドイツ、韓国の主要 5 カ国の発表件数の推移を示したものである。欧州の代表としてドイツの件数推移を採った。

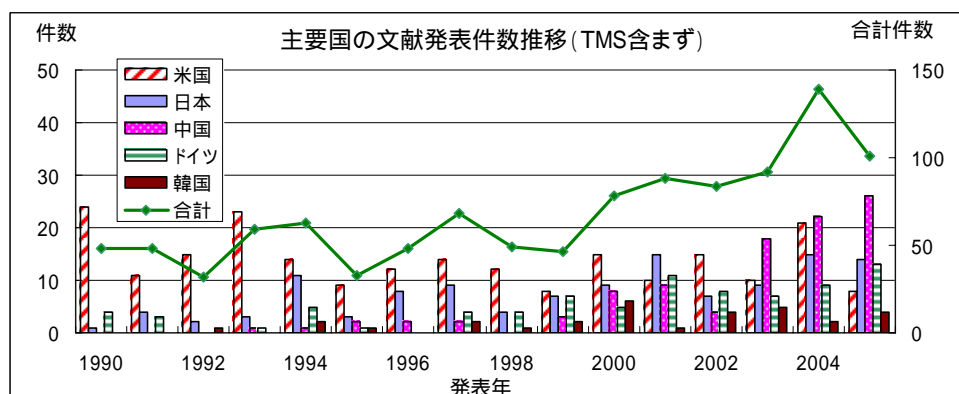
最近では、中国からの文献発表が目立つようになってきた。2000 年ごろから発表件数が増加し始め、2003 年には日本やドイツを追い越し、2004 年には米国の発表件数と肩を並べるまでになっている。米国の発表件数も 2000 年以降は増加基調にあるが、中国の文献発表増加率は米国のそれをはるかに超えている。文献発表者は上海交通大学など特定の研究機関に集中し、マグネシウム関連の研究者の母集団はさほど大きいとは思われないが、米国で活躍する中国人研究者の去就も考えると、早晚、中国はマグネシウムの研究開発のリーディングカントリーに躍り出るものと考えられる。

第3 - 1 図 マグネシウム関連文献件数と掲載割合の推移



(注) 掲載割合：マグネシウム関連文献数/全掲載文献数 × 1000

第3 - 2 図 主要5カ国の発表件数推移



(注1) 欧米 10 誌(TMS 除く)1076 件のデータより整理

第2 節 製造技術分野別の動向

収集したデータには、製造技術以外に材料に関する文献も含まれる。製造と材料とは表裏一体の関係にあって分離が難しいのであるが、第3 - 1 表の文献データのなかから、製造技術に関する文献のみを集めた。欧米誌については 443 件、国内誌については 680 件の製造技術関連の文献データを収集した。それらのデータを鋳造、塑性加工、熱処理、粉末冶金、表面処理などの製造技術分野に分類し、欧米誌、国内誌における主要技術の分類割合や推移を見た。

第3 - 3 図に製造技術分野別の件数割合と主要な製造技術における件数推移を示す。

国内誌に注目すると、鋳造、表面、加工で 84% を占め、欧米と比較すると、加工と表面の割合が高くなっている。表面や加工での文献発表の集中は、2000 年から始まり、第3 - 1 図に示した日本におけるマグネシウム関連の文献数を押し上げている主要因となっている。鋳造については 1998 年から 2000 年にかけて増加が見られたものの、それ以降は減少傾向にある。

欧米誌では鋳造の割合が高く、1999 年頃より増加傾向にある。また、加工分野に関する文献発表は低調であったが、2001 年より増加し始め、2004 年にかけて目覚ましい伸びを示している。日本の変化ほど急激ではないが、諸外国の変化は確実である。

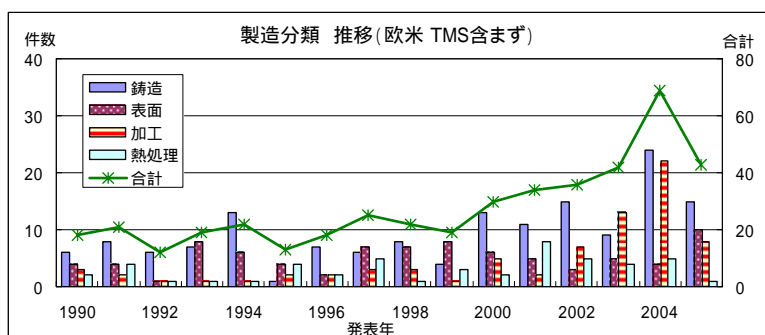
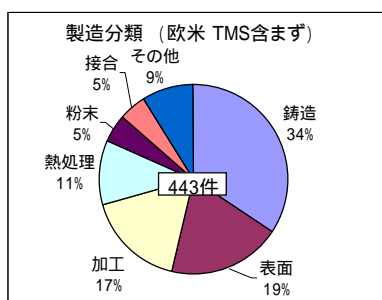
鑄造分野で、欧米誌での文献発表件数が多いのは米国、カナダ、ドイツの順である。また内容的には、国内誌ではダイカストとチクソキャスト（射出成形）に関する文献が件数で拮抗するが、欧米誌ではダイカスト、コンポキャストに関する文献が多い。

加工分野では日本、米国、中国からの文献発表が多い。欧米誌では押出や ECAE（Equal Channel Angular Extrusion）に関する発表が多いのに対し、国内誌ではプレスに関する文献が非常に多い。

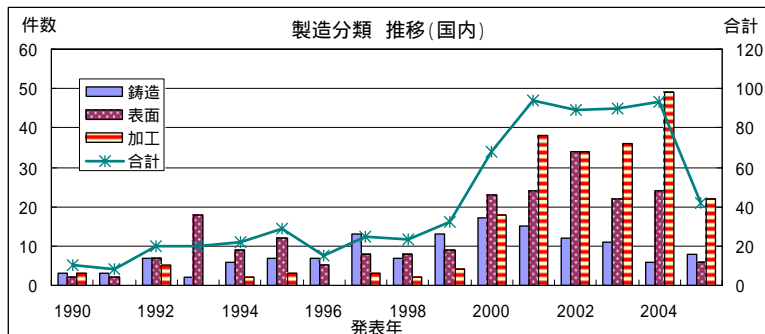
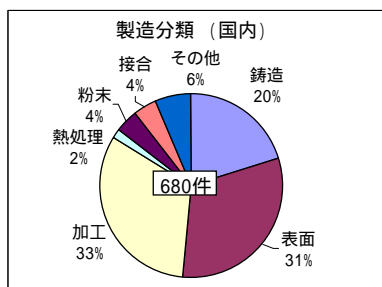
表面処理分野で文献発表件数が多いのは米国、ドイツ、イギリス、インドの順である。内容的には、国内誌、欧米誌とも化成処理と陽極酸化の件数が多いが、欧米誌では化成処理と陽極酸化が拮抗した状態にあるが、国内誌では化成処理の方が多。

第3 - 3図 製造分野の分類割合と主要製造技術の推移

(a) 欧米誌



(b) 国内誌



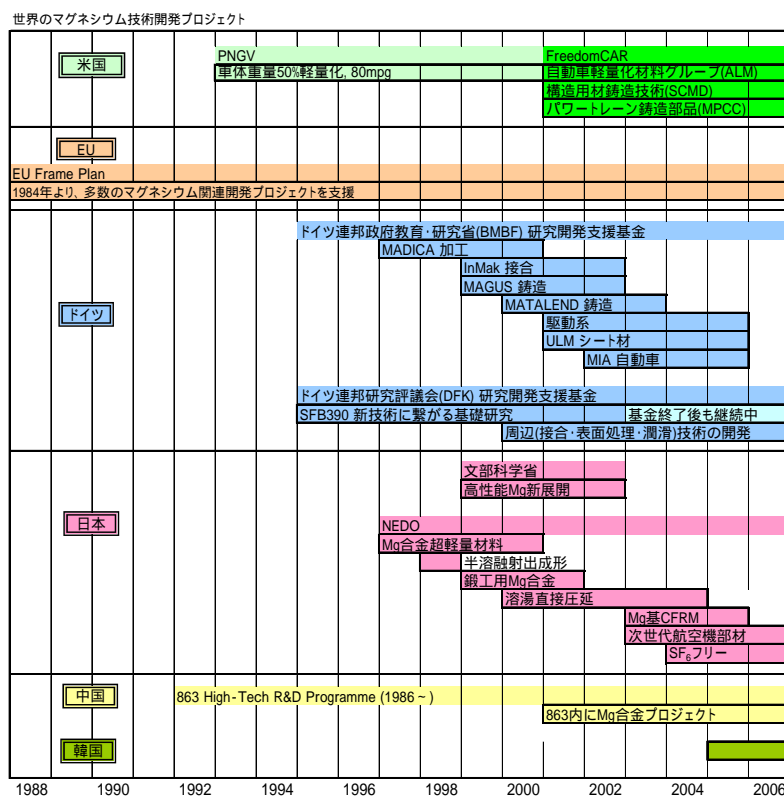
第4章 政策動向

第1節 技術開発と政府支援

マグネシウムは「軽量」で「堅牢」という特徴を持ち、軍需や航空機の材料として使われてきた。その関係で、マグネシウムの技術開発は、国家の政策に強い影響を受けながら進められ、設備投資がおこなわれてきた経緯がある。現在のマグネシウム製造技術の担い手は、自動車産業、電気・電子機器産業、素材産業などの民間企業ではあるが、開発の歴史あるいは魅力ある特殊金属という点から、国の支援を受けながら推進されている開発も多い。この動向は、日本、米国、欧州、中国とも同じである。

第4-1図に世界各国の政府・公的資金によるマグネシウム関連技術開発プロジェクトを掲載する。1997年頃より各国ともマグネシウムの製造技術や材料開発に本格的に乗り出したことが読み取れる。

第4-1図 政府・公的資金によるマグネシウム関連技術開発プロジェクト



(注1)本調査のために作成

EU やドイツはマグネシウムの技術開発に熱心である。EU では Frame Plan(FP)の中で、またドイツでは MADICA や SFB390 プロジェクトを中心にしてマグネシウムの成形技術および合金材料開発が進められている。米国では FreedomCAR and Hydrogen Fuel Initiative の中で、軽量化材料の一つとしてマグネシウム合金の自動車部品への適用開発が進められている。

中国では、2001年8月、High-Tech Research and Development Programme(863)のなかにマグネシウム技術開発プロジェクトが位置付けされ、4研究所、7大学が参加する研究ネットワークの中で、「マグネシウム合金応用と産業化」に関するプロジェクトが強力に推進されている。重慶、青島、上海、吉林、寧夏に産業化モデル基地が設置されたと報告されている。

日本では、1997年から、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が中心となってマグネシウムの技術開発プロジェクトを開始している。また、経済産業省と文部科学省は共同して地域科学技術振興事業を推進しており、地域毎に産学クラスターを形成し地域の研究開発を奨励している。この中にマグネシウム技術の開発も取り上げられ、日本の各地域にマグネシウム技術開発の拠点が生じつつある。1999年には、大学研究者らを中心に「文部科学省科学研究費特定領域研究：高性能マグネシウムの新展開」が始まり、基礎研究の面からマグネシウムの技術開発が推進されて、日本におけるマグネシウム製造技術の基盤強化に貢献したと評価されている。

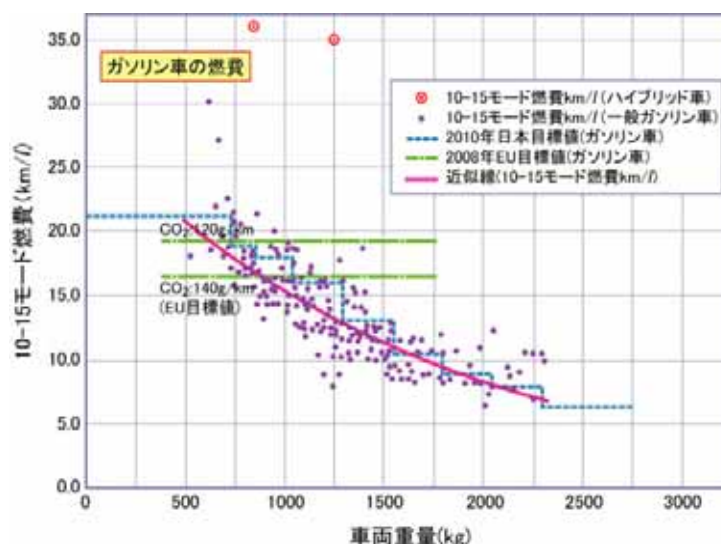
第2節 環境政策

1. CO₂排出規制と自動車軽量化

地球環境への負荷低減が強く求められるなかで、自動車から排出されるCO₂の削減が喫緊の課題となっている。CO₂削減にダイレクトに結びつく車両の軽量化は極めて重要である。

第4-2図は燃費カーブにEUのCO₂排出規制(2008年目標)及びわが国の燃費規制(2010年目標)を書き入れたものである。EU規制は厳しく、現在の技術レベルではこれをクリアできるのはハイブリッド車か重量1000kg以下の一部の軽自動車だけである。また、我が国の2010年燃費規制に対しても、合格できるのは全車種の30%程度であろうとされている。いま、自動車メーカーを中心に、燃料電池、ハイブリッドなどの動力源、あるいは高張力自動車鋼板、アルミニウムやマグネシウム合金などの軽量材料を採用した車体など、環境保全のための技術開発が繰り広げられている。実用金属中最軽量というマグネシウムの特性が再度評価されようとしている。

第4-2図 CO₂排出規制と燃費カーブ



(出典) 特許庁平成16年度特許技術動向調査「自動車軽量化」

2. 6価クロムに関する環境規制

EUでは、6価クロムに関する環境規制、WEEE指令とRoHS指令がいよいよ発効に移される。マグネシウムの表面処理分野では、ノンクロメート系の化成処理技術の開発が急ピッチで進められている。

第5章 市場動向

第1節 マグネシウム需要と供給

日本のマグネシウムの需要と供給は最近の10年間で大きく変化している。

第5-1図は日本のマグネシウム需要推移を示したものである。

1990年以降、マグネシウムの総需要は順調に増加し、1990年の27,084トンから2004年には46,084トンと14年間でほぼ2万トンの増加となった。需要量の増加だけではなく、需要構成比の変化が大きい。アルミニウム合金添加需要は、1990年代においては常に需要量の70%を占めてきたが、1998年頃から徐々に構成比が低下し、2003年には構成比45%、2004年には構成比42%まで低下した。これは、ダイカスト、射出成形、展伸材などの構造材の需要が徐々に伸びてきたためである。1990年の構造材需要はダイカストなどの1,340トンのみであったが、2003年にはダイカスト8,769トン、射出成形2,857トンなど構造材需要は12,483トン(30%)となった。

日本国内でもダイカスト比率が伸びてきたというものの、まだ欧米のレベルには達していない。第5-2図はマグネシウム需要の構成を世界と日本とで比較したものである。世界(主として欧米)ではアルミニウム合金への添加材需要と同程度までダイカスト需要が普及しているのに対し、日本ではダイカスト需要の普及が今一步であることがわかる。欧米では自動車のエンジン・ブロックにマグネシウム合金を採用した事例(フォルクス・ワーゲン社)もあり、かねてより、マグネシウム合金の自動車部品への適用に積極的であったことを反映している。

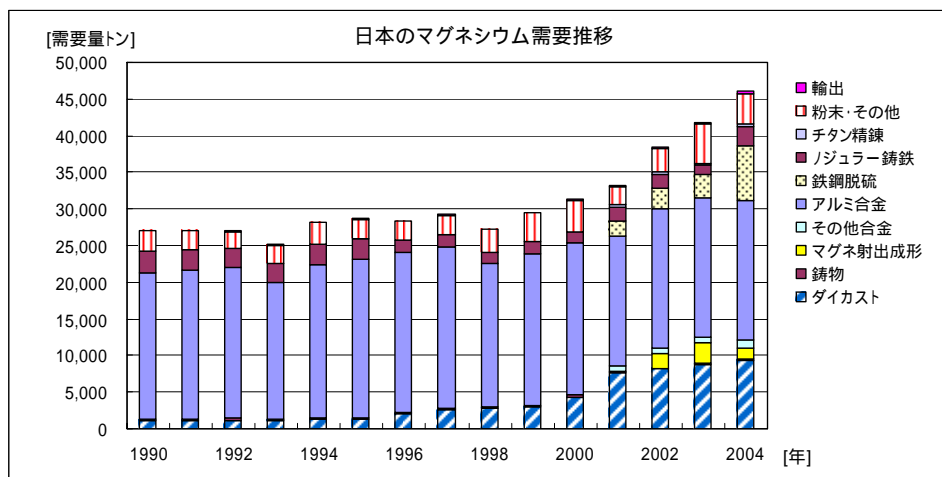
日本におけるマグネシウムの供給は、日本国内では地金の製錬(1994年の宇部興産の工場閉鎖をもってわが国の生産は中止)が行われていないことから、国内企業6~7社が中国の製錬企業に資本投資による開発輸入を行い、全量輸入となっている。

第5-3図に日本におけるマグネシウム地金の輸入推移を示す。

1990年当時の輸入は、米国からの輸入が10,698トンと第1位で65%を占めていたが、その後中国からの輸入量が増加し、2004年には米国からの輸入量は35トンとなった。

現在、中国からの輸入は、総輸入量の94%(2004年には39,459トン)に達し、米国、カナダ、ロシア、ノルウェーからの輸入がすべて駆逐されてしまった状況にある。

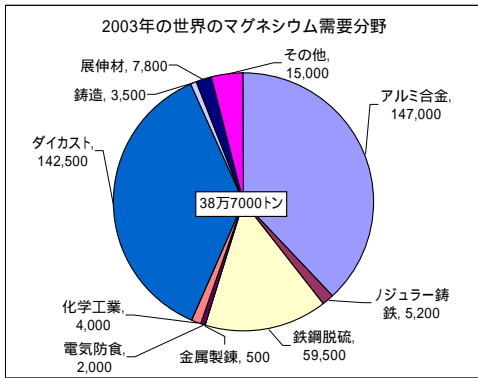
第5-1図 日本のマグネシウム需要推移



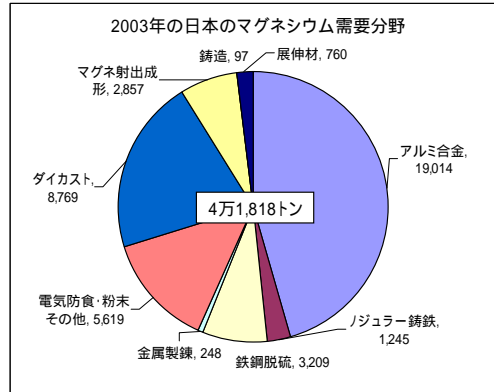
(出典) 日本マグネシウム協会の提供データを基に作成

第 5 - 2 図 マグネシウム需要分野の世界と日本の比較

(a) 世界の需要

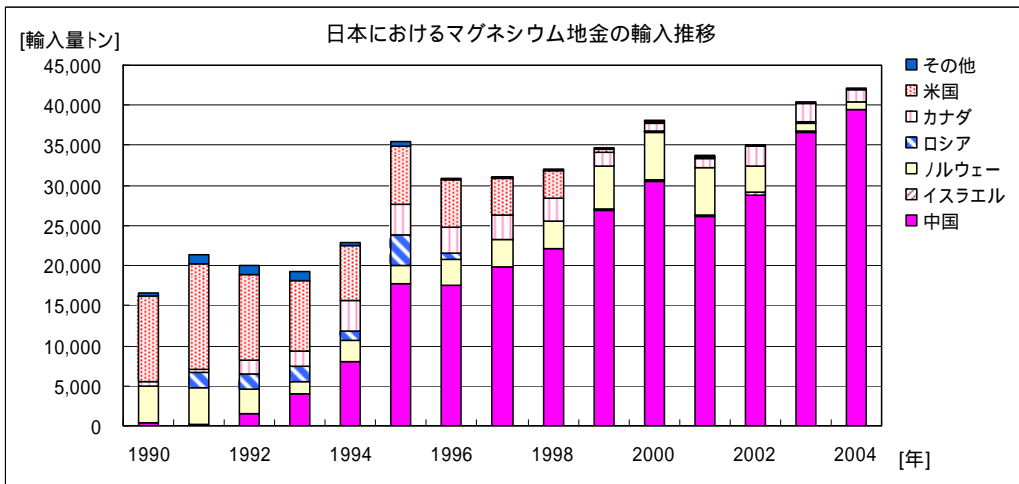


(b) 日本の需要



(出典) 日本マグネシウム協会の提供データを基に作成

第 5 - 3 図 日本におけるマグネシウム地金の輸入推移



(出典) 日本マグネシウム協会の提供データを基に作成

第 2 節 自動車部品への適用

欧米では、自動車部品へのマグネシウム利用は比較的歴史が古く、1921年、米国インディアナポリス・カーレースにマグネシウム合金製ピストンを実装した車が出場し、優勝したことが報告されている。また、1949年、ドイツのフォルクスワーゲン社が、マグネシウム製の空冷エンジンを搭載した自動車を開発したことはよく知られている。

最近では、地球環境改善対応のため抜本的な自動車軽量化が求められるようになり、日本においても、マグネシウム合金の採用が積極的に検討されるようになってきた。マグネシウム合金はシリンダヘッドカバーなどのカバー類、各種ハウジング類、ブラケット類、ステアリングコラム部品などの小物部品はもとより、4WDのトランスファーケースやマニュアルトランスミッションケースといった大物部品にも適用も検討されている。マグネシウム合金ダイカスト部品を用いて軽量化している高級車も現れている。

日本自動車工業会が1973年から3~5年毎に実施している「普通・小型乗用車の原材料構成」という調査がある。自動車を構成する金属・樹脂・ガラス・繊維等多くの材料の重量構成に関する調査である。その調査によると、アルミニウム材料は1973年の2.8%から2001

年の 6.2%までその比率を大きく伸ばしている。自動車軽量化を反映した鋼材から軽金属材料への材料置換の結果である。残念ながら、市販される一般的な自動車では、マグネシウムは原単位比率としてカウントされるほどには至っていない。

欧米では、自動車用構造部材としてマグネシウム合金の採用が徐々に進みつつあるが、日本においては、車体構造の違いとコストが高いといった理由から、採用が遅れているのが実状であり、一般的な自動車でのマグネシウムの普及が今後の課題となっている。

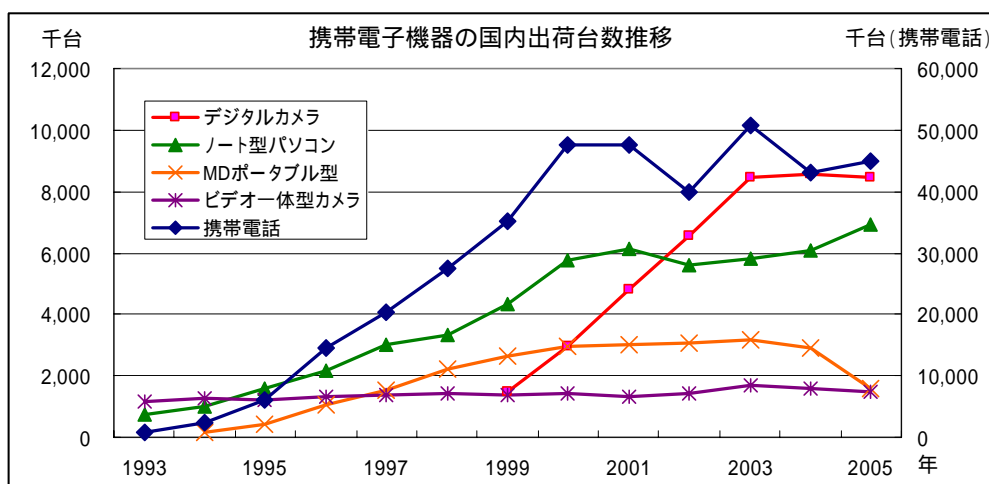
第3節 携帯電子機器への適用

マグネシウム合金の携帯電子機器への適用が期待されるのは、金属としては軽量であること、プラスチックより熱伝導性・放熱性が良く、金属的質感が保てること、非磁性で電磁波シールド性が良く、ノイズの影響を少なくできることなど他の材料にはない特性が評価されているからである。

電子機器筐体への適用の歴史は比較的早く、1980年、ソニーが業務用ビデオカメラにマグネシウム合金を採用したのが我が国における本格的な最初の試みとされている。1997年、マグネシウム筐体を採用した世界最軽量のノートパソコンが開発されたことを契機に、ノートパソコン、携帯電話、デジタルカメラ、ミニディスクなど多くの携帯電子機器製品の筐体にマグネシウムが採用されるようになってきている。

第5 - 4図に携帯電子機器の国内出荷推移を示した。2003年における射出成形 2,857 トンの大部分が携帯電子機器の筐体向けマグネシウム需要と考えられており、近年の、マグネシウム製造技術および合金開発における活況は、携帯電子機器の筐体により誘起されたと言っても過言でない。携帯電子機器筐体に採用されるマグネシウム需要量の詳細は不明であるが、携帯電子機器自体が軽量であること、また日本での生産自体が頭打ちになっていることから考えて、さほど大きなマグネシウム需要を期待することはできない。

第5 - 4図 携帯電子機器の国内出荷推移



(出典) 電子情報技術産業協会(JEITA)「民生用電子機器データ集」2005年6月、
 JEITA 発表「2005年国内パソコン出荷台数」(2006年1月25日)
 カメラ映像機器工業会資料 (<http://www.cipa.jp/data/dizital.html>) により作成
 (注1) 左軸(千台)は携帯電話以外の出荷台数

第6章 提言

第1節 取り巻く現状

特許全体動向で述べたように、我が国では、1999年頃より特許出願が急に増え始め、最近では年間150件前後の出願が続いている。(第2-1図)このような出願件数の増加は、鑄造技術(第2-3図)、加工技術(第2-8図)、表面処理技術(第2-18図)などマグネシウム合金に関係する製造技術分野全般に認められる傾向である。また、この時期より、マグネシウム合金の研究開発分野(第3-1図)でも活況が始まっており、合金開発、製造技術に関する多くの論文が発表されるようになってきた。

このような特許出願や研究開発における活況には、ミニディスク、携帯電話、ノートパソコンなどの電子機器筐体や自動車部品への採用拡大が背景にある。我が国の2003年のマグネシウム総需要は41,818トンである。そのうち自動車部品などのダイカスト需要は8,769トンで、電子機器筐体向けと考えられる射出成形用途は2,857トンである。両用途とも1998年頃より顕著な増加を示している(第5-1図、第5-2図)。

しかしながら、このことはマグネシウム合金が自動車部品や電子機器筐体のなかで、主要且つ必要不可欠な構造部材となりつつあることを意味するものではない。自動車工業会の2001年の「乗用車の原材料構成比」調査によるとマグネシウム合金などの非鉄金属の車体総重量に占める割合は0.2%程度で、アルミニウム合金の6.2%に比べると、微々たる割合である。また、携帯電子機器筐体のマグネシウム可能最大需要7,000トン(第5-4図)という量から考えると、射出成形用途は2,857トンという実需要量は、推定適用率40%以下と推計され、すべての筐体がマグネシウム合金に置き換わったわけではない。プラスチックやアルミニウムとの競合のなかで、設計者の商品コンセプトに基づいて使い分けられているというのが現状である。

実用金属材料の中で最も密度が小さく、環境に優しい21世紀のキーマテリアルとして関心を集めるマグネシウム合金ではあるが、自動車部品や電子機器筐体の分野で本格的な構造材料として認知されるためには、合金開発やプロセス開発などの分野で解決せねばならない問題も多数内在する。製造技術の面では「発火、燃焼防止技術の確立」と「難塑性加工性の克服」という二つの大きな課題が残っている。

また、日米欧中韓5出願収支(第2-2図)に示したように、特許出願の面では日本が圧倒的優位を維持しているが、国際的な論文誌でのマグネシウム関連文献の発表件数に目を向けると、中国が迫って(第3-2図)きている。直近2、3年では日本を追い越し、米国に比肩するレベルに達している。

解決せねばならない上記二つ課題や中国との競争など、我が国のマグネシウム合金構造材料製造技術を取巻く環境は決して容易ではない。

第2節 発火・燃焼防止技術の確立

マグネシウムの発火・燃焼防止は、マグネシウムが発見されたときからの課題で、この問題が、製造技術上、マグネシウムを「扱いづらい材料」としていた大きな要因の一つである。

マグネシウムの発火・燃焼防止のうえで、最も効果的であったのは射出成形(チクソモールドィング)機の開発である。原料として固形チップ状マグネシウムが直接利用できるため、自然発火の心配がなく、SF₆などの保護ガスも必要なく、安全な操業環境のもとで成形が可能になった。

射出成形は、MIT のフレミング教授 (M.C.Flemings) の基本コンセプトに従って、米国のダウ・ケミカル社とバツテル研究所が開発した方法である。1992 年、日本製鋼所が技術導入し、実用機の開発を行った。1994 年に第 1 号機が製作され、1996 年頃より実際の製品への応用が急速に広がっていった。鑄造技術の出願件数推移でも示したように (第 2-5 図、第 2-6 図) 射出成形の広がりとお願件数の急激な増加とはほぼ一致する。1996 年以前は、ダイカストに関する出願が主であったが、この年を境に、日本製鋼所や日精樹脂工業による射出成形機の出願へと変化した。また、携帯電子機器の筐体にマグネシウム合金が採用されるようになるのもこの時期である。1996 年のソニーのミニディスク (MD) への適用を端緒に、1997 年の軽量ノートパソコン、1998 年のデジタルビデオカメラなど、次々と携帯電子機器の筐体に採用されるようになった。発火・燃焼の危険を防止し、一般材料と同じように扱えることを可能にした射出成形の開発が、携帯電子機器筐体へのマグネシウム合金の採用を促進し、実製品での応用が一層の開発と特許出願を加速したとって過言でないだろう。

一方、自動車部品の成形に使われるダイカストにおいては、未だ、「発火・燃焼防止」ということが最大の課題となっている。これは鑄造技術の技術要素と課題のバブル図に示したとおりである (第 2-7 図)。ダイカストでは多くの出願が発火・燃焼防止を最大の課題としている。射出成形では発火・燃焼防止を課題とする出願が極めて少なく、対照的である。解決手段として電磁ポンプを使う給湯装置、カバーガス、カバーフラックスなどの方法が提案されているが、射出成形のようなブレークスルーに繋がる技術は未だ開発されていない。自動車部品への適用はコストや合金性能 (耐クリープ性) などにも影響されるが、「発火・燃焼防止技術」の未成熟がマグネシウム適用拡大の阻害要因の一つとなっている。またカバーガスとして利用されることの多い SF₆ ガスは地球温暖化効果が CO₂ ガスの 23,900 倍と大きく、環境インパクトの改善が急務となっている。代替ガスの開発も含め、ダイカストにおける「発火・燃焼防止技術の確立」が喫緊の課題である。

第 3 節 難塑性加工性の克服

1. 塑性加工プロセスの開発

ノートパソコンなど携帯電子機器へのマグネシウム合金の適用は筐体薄肉化への挑戦の歴史でもある。ノートパソコンでは 1990 年代初期より筐体マグネシウム化の開発が始まっており、A4 版パソコンで 1.3mm、A5 版パソコンで 1.0mm が量産適用開始時の実用的最小肉厚であった。最近では、部品形状の最適設計、金型設計技術、成形設備の進歩等により、射出成形で 0.8mm、高速射出ダイカストで 0.5mm まで薄肉化が可能とされており、実際、0.5mm の超薄肉筐体を実装したノートパソコンが市販されている。

薄肉化の進展とともに顕在化するのが、ヒケ、湯ジワなどの表面欠陥であり、それに伴う二次加工工数の増加によるコストアップの問題である。トリミング、バリ取り、表面仕上げ、機械加工、防錆処理、塗装の二次加工費が、マグネシウム筐体原価の約 80% を占めているとされており、手入れが増えるほどコストアップにつながる。ダイカストなど鑄造法の魅力は造形性の自由度にあるが、薄肉化の進展とともに、ボスやリブの最小化設計など設計の自由度も制限されつつあるのが現状である。

筐体薄肉化時の課題を解決する方法として期待されているのが、プレス鍛造の技術である。プレス成形は、原則的には、板圧不変の成形法であるが、この成形法では板材に目的の凸凹状や肉厚段差を作り、側面も曲げながら薄くする複合的な加工を可能としている。ミニディ

スク（MD）の筐体を板材から成形するために開発された技術で、電子機器筐体へのマグネシウム板材適用の端緒となった開発である。プレス鍛造は表面欠陥の抑制や寸法精度の向上が期待できるだけでなく、ボスやリブなど付属部分を鍛造工程だけで成形できるという工程簡略の機能も具備する画期的な成形加工方法である。

従来、マグネシウム合金の塑性加工は極めて難しいということもあって、長い間、特許出願や技術開発は低迷していたが、プレス鍛造の開発が開始された 1998 年ごろより、鍛造や圧延に関する出願（第 2-10 図(b)）が急激に増え始めた。このことは塑性加工分野の出願動向で見たとおりである（第 2-10 図(a)）。本来、携帯電子機器のような小型の筐体は、板材をプレス鍛造のような成形法で高品質且つ高効率に製造できることが理想的である。マグネシウム合金の用途拡大のためにも、プレス鍛造のような革新的技術の開発が望まれる。圧延のような板材製造、プレスや鍛造などの成形加工（第 2-23 図、第 2-24 図 特許系統図）など、潤滑の問題も含め、難加工材料というハンディキャップを克服する高度な塑性加工技術の開発が望まれるところである。

2. 高品質で安価な板材の供給

生産工程的には、板材をプレス機や鍛造機で打抜くほうが効率的である。しかしながら、「必要とする板材が十分に供給されない」というのが現状であり、高品質で安価な板材の供給が大きな課題である。

現在、板材は、インゴット鑄造、粗圧延、熱間圧延、温間仕上げ圧延の各プロセスを経て製造されている。再加熱を繰り返し、リバース圧延を前提としたプロセスを辿るため、極めて高コストの素材となっている。2003 年には 760 トンの展伸材（第 5-2 図）が生産されているが、これら展伸材の価格は高く、特に板材は極めて高価格で取引されている。

マグネシウム合金の板材を製造する上で、注目されているのが連続鑄造法である。連続鑄造法の中でも、鑄造工程からストリップコイルまで一気通貫に製造することのできる双ロール（ストリップキャスト）法や薄厚モールド（スラブ）法などに関心が集まっている。

双ロール法は、回転するツインロールに溶湯を注ぎ、一気にストリップコイルを仕上げる方法である。このプロセスの開発は 1982 年頃にダウ・ケミカルが着手した経緯がある。わが国でも、最近、実験的な試みが行われ、600mm 幅程度のコイル製造が可能であることが報告されている。この方法には、表面品質確保のための凝固界面の安定制御やロール幅方向に溶湯を均一に供給する高い鑄造技術など、難易度の高い技術開発が要求されるが、圧延工程の多くが省略されるため、大幅なコストダウンが可能であり、今後の開発が期待される。

薄厚モールド法では 25mm 厚×500mm 幅の鑄片が連続鑄造可能になっている。また、薄厚モールド連続鑄造設備に圧延機を連結させて、鑄造直後にスラブに残留する温度を利用してインラインで圧延するプロセスも検討されている。

双ロール法、薄厚モールド法とも、湯ジワや酸化物巻込みなどの鑄造欠陥の発生を押さえ込み、圧延中に発生する焼付などの圧延起因欠陥を抑制して、いかに高品質の板材を造り込むかということが最大の開発課題となっている（第 2-7 図、第 2-15 図）。困難な挑戦課題ではあるが、板材の安定供給とマグネシウム合金の用途拡大を視野にいと、是非とも実現したい技術である。

鑄造分野の技術要素別出願動向（第 2-6 図）にみたように、我が国では、2000 年頃より、双ロール法、薄厚モールド法によるマグネシウム連続鑄造法の特許が出願されている。これ

らは、高品質で安価な板材の供給という最近のニーズを反映した技術開発に伴うものであり、技術開発の成果として特許出願がされたものと推察される。しかしながら、現状では出願人が限られ、競争的に本開発を推進するプレーヤが少ないという問題がある。高品質で安価な板材供給を目的とするこの技術を実現するためには、連続鋳造と圧延技術に深い経験を有する鉄鋼、アルミニウムの素材メーカーの参加（第3-22図 特許系統図）が是非必要である。

第4節 国際的な知財戦略

解決すべき多くの課題が内在するものの、マグネシウム合金構造材料の製造技術において、わが国は世界のリーディングカントリーの一つであることは論を待たない。5極出願収支に見たように（第2-2図）、我が国企業から、米国、欧州、中国、韓国への出願が多い状況にある。

しかし、状況は変化しつつある。中国の動向である。論文の発表件数が非常な勢いで伸びており、合金開発や塑性加工の分野では、日本や米国と肩を並べるレベルに達し、2003年以降は日米を追い越す勢いである（第3-2図）。中国でのマグネシウム開発の拠点は、上海交通大学やハルビン工業大学など一部の研究機関に限られるが、近い将来、これらで開発された技術は中国全土の製造現場に拡がり、中国のマグネシウム材料の製造技術向上に大きく貢献するものと考えられる。中国での出願動向において、中国国籍出願人の出願が目立つようになってきたのはその証左である。中国はマグネシウム地金の最大の製造国でもある。全国いたるところに原料となるドロマイトが埋蔵されているといわれている。北欧、米国、カナダ、オーストラリアが持つ精錬技術が中国に移転されると、近い将来、中国は、精錬から加工まで高レベルの製造技術を持つマグネシウムのリーディングカントリーに変貌する可能性を秘めている。

このような状況の中で、国際的な特許出願、特に、中国への出願をどうするかということは、我が国にとって重要な問題である。現代の製造技術は、単一のアイデアや単層的な技術によって成立するものでなく、膨大なノウハウと多数の技術を複層的に構成することで初めて効果を発揮する。権利化すべき技術と温存すべきノウハウとを明確に意識した知財戦略を展開しなければならない。