

平成23年度第3次補正戦略的基盤技術高度化支援事業

「超耐熱プラスチックを連続積層成形するプレス装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 2月

委託者 四国経済産業局

委託先 公益財団法人とくしま産業振興機構

目 次

第 1 章 研究開発の概要	1
1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1－1－1 研究開発の背景	
1－1－2 研究開発の目的及び目標	
1－2 研究体制	4
1－2－1 研究組織・管理体制	
1－2－2 管理者および研究員	
1－2－3 協力者	
1－3 成果概要	7
1－4 当該研究開発の連絡窓口	8
 第 2 章 本論	 9
2－1 高温高圧連続プレス装置の開発	9
2－1－1 加熱システムの開発	
2－1－2 ヒータプーリの開発	
2－1－3 シール構造の開発	
2－2 高周波加熱装置外装材料の設計	1 6
2－2－1 素材の選定と設計	
2－2－2 素材の性能評価	
2－3 加工材料の基礎実験	1 7
2－3－1 既存材料製造の基礎試験	
2－3－2 新素材製造の基礎試験	
2－4 実機性能確認	2 2
2－4－1 連続プレス装置の性能試験	
2－4－2 試作品の評価	
 最終章 全体総括	 2 5

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・目的

連続式プレス装置の構造及び特徴は、薄膜フィルムの連続ラミネーションを実現できる装置であり、CCSLなど高性能フィルム、エンジニアリングプラスチック材料、金属系複合材料などが製品として挙げられる。これらの材料は、例えば、エレクトロニクス関連では携帯電話を始めとする分野で需要が伸びており、さらに自動車関連では、製造時の省エネ化、軽量化を目的に金属やガラスの代替部品としても使用量が増加している。このような製品を製造する市販の連続プレス装置は、(1) 間欠プレスの製造では生産性が劣る。(2) ローラー方式の製造では、加圧部が線接触するために反応時間が短く、均質な製品が製造できない。(3) 同様に、薄物材料の積層シワが生じる。(4) 現状の装置では、製造温度・圧力条件から既存の特性をもつ製品にとどまり、高い耐久性、耐熱性を有する近未来の新規材料の製造が望めない。などの問題点がある。森田技研工業株式会社で研究開発された連続式プレス装置は、上記の(1)～(3)までの問題点をすでに克服し、製造される複合材料は緻密な組織で物理的特性が極めて優れているという特徴(温度250℃、圧力4MPa以下の条件)がある。しかし、現状の装置の加熱方式は加熱した油を熱媒体としてポンプで圧送するシステムであり、配管経路などでの熱損失が大きく、設置のための面積も大きく、350℃以上に加熱することが難しいこと、さらにオイルシールと金属の熱膨張係数の違いにより、高温ではシール性能と加圧力の両立が難しいなど理由から(4)の課題には対応できておらず、世界的にも450℃、10MPaの条件を達成する連続プレス装置は存在しないのが現状である。

一方で、川下産業である各素材メーカーからは、特に自動車産業、情報機器産業におけるスーパーエンブラの市場拡大のために、従来の燃料チューブ、クイックコネクタ、点火コイルケーシングなどから更に耐熱性、耐食性などの機能性を必要とする部位であるエンジン周り、オイル周り等への使用が望まれている。

これらの材料(金属箔との複合、繊維材料との複合など)は、高機能であるが故に要求される加工条件は、450℃、10MPaと高温・高圧化しており、加工が難しくなっている。現状では、このような条件下で、連続加工ができる装置が存在しておらず、研究開発自体もあまり行われていない。これに対応できる装置を開発し、大量かつ低コストに新素材を供給できれば、既に多くのニーズが存在している自動車、情報家電、携帯電話、航空宇宙などの各産業の市場に参入し、大きな発展に寄与することができる。

1-1-2 研究開発の目標

本研究開発では、超耐熱エンジニアリングプラスチックを連続積層成形できるプレス

装置の開発を行う。本プレス装置は、従来にない450℃、10MPaの条件でプラスチック材料の積層薄膜化を連続的にを行い、従来にない耐熱性に優れた複合材料（スーパースーパーエンジニアリングプラスチック）を製造することができる。製造される製品は、現状のスーパースーパーエンジンプラを凌ぐ機能を持ち、自動車、情報家電、航空宇宙産業等において市場が広がる。研究開発は、次のサブテーマを設定し、超耐熱プラスチックを連続積層成形するプレス装置の開発を行う。

①高温高压連続プレス装置の開発

目標温度である450℃を達成するには、従来の油循環による加熱方式では、製作は可能であるが、熱エネルギー損失が大きく、現実的ではない。これを解決する手段の一つに高周波加熱を用いた方法が考えられる。これによって熱媒体不使用によるエネルギー損失を抑え必要なエネルギーを50%程度削減できるが、既存の装置では、幅方向の均一な加熱が難しかった。そこで森田技研工業が新たに高周波加熱装置を開発し、その予備実験において高周波加熱装置による450℃の達成及び一定面積における温度分布均一化の確認できている。この技術を応用した連続プレス装置用の高周波加熱装置を開発する。

連続プレス装置での加圧力は油圧により得ており、動くスチールベルトに圧力を与えている。この機構を達成するため加圧装置とスチールベルトの間の潤滑性を確保しつつも、加圧力を確保できるオイルシールの構造が必要である。目標圧力は、10MPaと従来の2.5倍とより厳しい条件であり、これを達成できるシール構造を特許技術を活用し開発する。また、現在製作中の油漏れ試験機を使用し、加圧装置製作現場でチェックしながら研究開発を進めていく。

開発する高周波加熱装置についてシミュレーションを用いて、均一に加熱できることを確認し、の設計・製作にフィードバックを行う。製作した高周波加熱装置について加熱性能を測定し、評価を行う。シミュレーションと測定の相関についてのデータを蓄積し、連続プレス装置での解析手法を確立する。

②高周波加熱装置外装材料の設計

450℃の温度条件を達成する高周波加熱装置は加圧室に組込まれる。高温であるためこれまでより大きな熱負荷とそれによる熱応力が発生し、均質な加圧と温度が必要である加圧室を変形させ、不均質な加圧と加熱となる。この熱応力をシミュレーションにより解析し、高周波により発熱しない磁性材料以外の素材を選定し、耐圧力・耐温度特性に適した素材の選定と構造を決定する。

シミュレーションにより設計した外装を450℃、10MPaの条件を付加し、そのひずみや変形、また、温度分布等の評価を行い、性能を評価する。評価結果とシミュレーションと合わせ

相関を分析し、特性を把握する。その結果を設計にフィードバックするとともに最適設計手法を確立する。

③加工材料の基礎実験

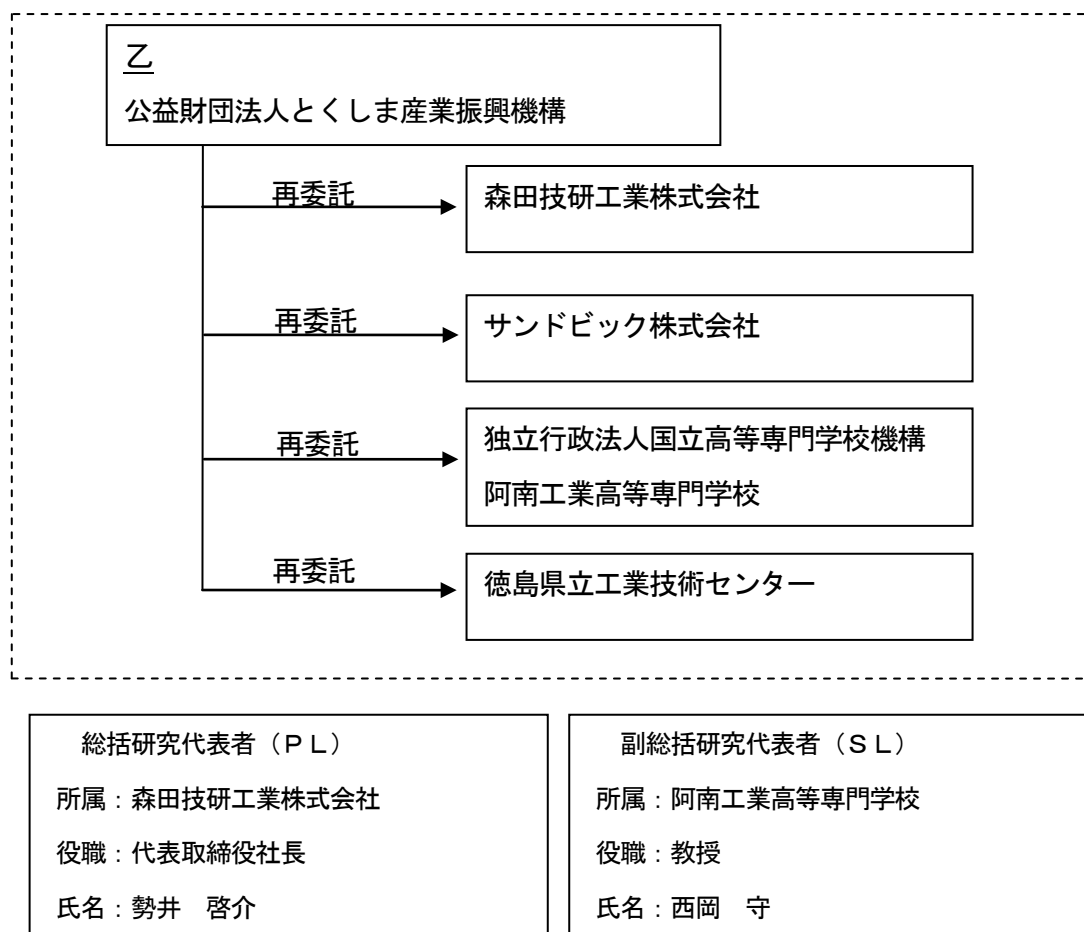
既存の材料について、450℃、10MPa における性状変化について耐熱性や機械的強度の測定を行い、これらの機能性の向上等の可能性について追求する。これまで製造できなかった新規素材について 450℃、10MPa の条件における無機系あるいは有機系の化学反応とそれによる付加価値付与の効果について、JIS 規格等に従いながら各種機械強度測定装置、分光光度計、電子顕微鏡観察によって検証する。結果として、本研究開発で試作される連続プレス装置により製造されるスーパーエンブラなどの使用した、市場で要求される近未来の高機能材料を提案する。

④実機性能確認試験

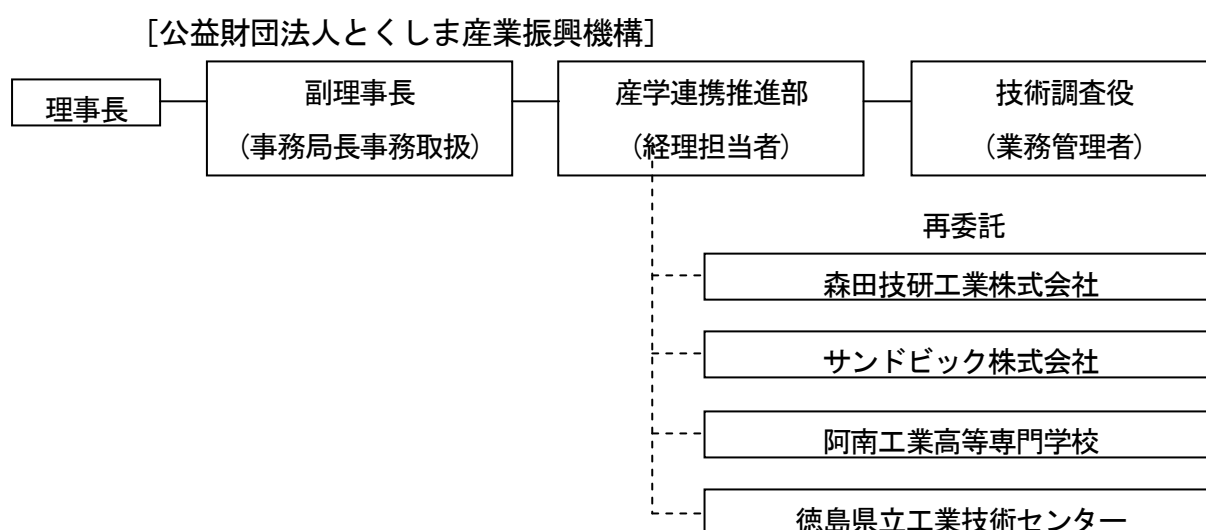
開発した加熱・加圧装置を組み込んだ新規連続プレス装置に組み込み、運転試験を行い、温度・圧力・ひずみ等を測定し、確認する。開発した新規連続プレス装置にて、従来の材料とスーパーエンブラを初めとする新規材料について試験加工を行い、試作品の接合性や性能性等を評価する。既にユーザーから要望の挙がっている材料について順次、試作を行い、ユーザーでの評価を受ける。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織・管理体制

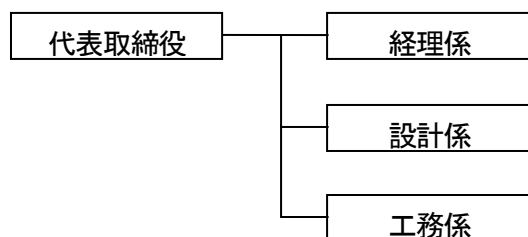


①事業管理者

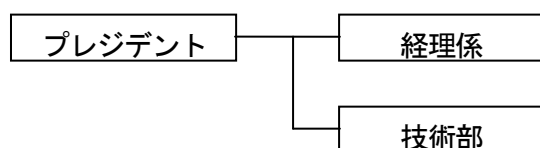


②再委託先

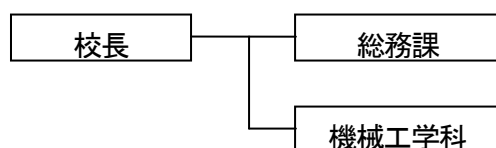
森田技研工業株式会社



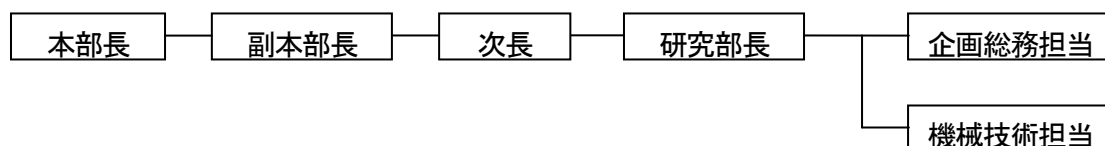
サンドビック株式会社



独立行政法人国立高等専門学校機構阿南工業高等専門学校



徳島県立工業技術センター



1-2-2 管理者および研究員

【事業管理者】

公益財団法人とくしま産業振興機構

氏 名	所属・役職	備考
宮崎 淳	産学研究推進部 部長	
尼寺 康泰	産学連携推進部 副部長	
武知 博憲	産学連携推進部 副部長	
山下 有平	産学連携推進部 研究員	

【再委託先】

森田技研工業株式会社

氏 名	所属・役職	備考
勢井 啓介	代表取締役社長	総括研究代表者 (PL)
尾崎 文雄	技術部長	
久留米 正志	技術課長	
岡久 統映	研究員	
米田 厚	研究員	
江上 耕二	研究員	
仁木 章太	研究員	
相原 孝昭	研究員	
桑井 昌夫	研究員	
市原 和也	研究員	

サンドビック株式会社

氏 名	所属・役職	備考
坂本 擁	技術部長	
日野林 輝彦	技術部	
北田 純一	技術部	

独立行政法人国立高等専門学校機構阿南工業高等専門学校

氏 名	所属・役職	備考
西岡 守	機械科 教授	副総括研究代表者 (SL)

徳島県立工業技術センター

氏 名	所属・役職	備考
日開野 輔	機械技術担当 主任	

1-2-3 協力者

アドバイザー

氏 名	所属・役職	指導・協力事項
野々村 俊夫	四国地域イノベーション創出会議 イノベーションコーディネータ	製造条件、市場開拓に関するアドバイス
大橋 浩司	NOK株式会社 ガスケットブーツ事業部 SMG部	機械構造開拓に関するアドバイス

1-3 成果概要

450℃・10MPa を達成する超耐熱プラスチックを連続積層成形するプレス装置の開発を行った。加熱部分では、従来の油循環式から IH 式に変更し高効率に加熱できる装置を開発した。さらに、ヒータプーリなどを新開発・採用し、450℃まで加熱可能な装置とした。10MPa を達成するためのシール構造として部分的に任意に加圧可能なシステムを採用し、摩擦抵抗の増加を最小限にしながら、10MPa の加圧が可能な加圧装置を開発した。使用材料については、耐摩耗性や摩擦力、加工性を比較し決定した。構造設計と合わせて、加熱解析、応力解析などのシミュレーションを実施し設計計算の確認を行った。最終的に測定データと合わせることで、各種解析パラメータの最適化ができ、本プレス装置の解析手法の確立が図られた。

加工材料の基礎試験では、近未来のスーパーエンジニアリングプラスチックのひとつである PEEK を選択した。PEEK は、フィルム形状及び板状の材料とし、今後の市場を考え、炭素繊維材料及び銅箔との積層実験を実施した。実験は、バッチ式により加熱温度 250℃～425℃、圧縮圧力 10MPa～20MPa とした。引張強度、電子顕微鏡観察から、炭素繊維、銅箔と PEEK との溶着は、400℃、20MPa 以上、あるいは 425℃、10MPa 以上で確認された。

試作したプレス装置を完成させ、その温度や圧力などを測定し、最終性能の確認を行った。多少の問題はあるものの目標に近い温度と圧力の条件で加工可能であることが確認できた。製品化に向けては加圧 BOX 内の放熱も考慮したコイルの開発・シール～ベルト間の潤滑性能向上及び耐久試験が必要である。また、市場開拓に向けては、加工材料に対する加工条件の目安などを持っており、ユーザーの試験加工にすぐに対応できる必要がある。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

①事業管理者

公益財団法人とくしま産業振興機構

〒770-8021 徳島市雑賀町西開 11-2

TEL : 088-669-4757/FAX : 088-669-4759

(経理担当者)	産学連携推進部 部長	宮崎 淳
(業務管理者)	産学連携推進部 副部長	武知 博憲

②再委託先

森田技研工業株式会社

〒774-0015 徳島県阿南市才見町旭越山 68

TEL : 0884-23-2850/FAX : 0884-23-2588

(経理担当者)	経理係	川野 徳
(業務管理者)	代表取締役社長	勢井 啓介

サンドビック株式会社

〒651-2271 兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5-9

TEL : 078-993-1401/FAX : 078-997-4661

(経理担当者)	経理部	石田 康浩
(業務管理者)	プレジデント	辻 光英

独立行政法人国立高等専門学校機構阿南工業高等専門学校

〒774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265

TEL : 0884-23-7100/FAX : 0884-22-5424

(経理担当者)	総務課財務係長	濱田 ゆうこ
(業務管理者)	校長	吉田 靖

徳島県立工業技術センター

〒770-8021 徳島県徳島市雑賀町西開 11-2

TEL : 088-669-4711/FAX : 088-669-4755

(経理担当者)	企画総務担当	山本 高輝
(業務管理者)	企画総務担当	武知 博憲

第2章 本論

2-1 高温高圧連続プレス装置の開発

IH 加熱システムやヒータプーリなどの加熱システムおよび高圧力に耐え得るシール構造などをシミュレーションや要素試験などを行い開発を進め、図 2-1 に示す高温高圧連続プレス装置を新規開発した。各要素での開発の詳細は次のとおりである。



図 2-1 高温高圧連続プレス装置

2-1-1 加熱システムの開発

従来は油循環式のシステムにより加熱していた。本研究開発の目標である 450℃までの加熱を達成するためには、油循環式では熱の損失が大きく熱効率が悪かった。装置の補機類の設置スペースも比較的広い面積が必要であるなどの問題があった。そこで、IH 式の加熱装置を新たに開発した。IH 式では短時間での昇温が可能であり、必要な部分だけ加熱することができるため、熱効率が良くなる。補機類が大幅に少なくなり、設置スペースの問題も改善できる。また、構造的に単純になるため、メンテナンス性が改善するなどメリットが多い。ただし、加熱の均一性の問題があるが、事前のテストで、均一性が高い IH 加熱が可能であることが確認できている。IH 加熱装置を製作するにあたって、加圧・加熱されるスチールベルトが移動するため時刻歴での昇温の設計計算が必要である。これは、複雑な計算であるため汎用有限要素解析ソフトウェアの ANSYS を使用し、時刻歴の過渡伝熱解析を行い、スチールベルトの速度と加熱に必要なエネルギーを計算した。

この他、IH 加熱を行う前にヒータプーリを用いた予熱を導入する。これはプーリとの接触によるスチールベルトの放熱を少なくするためである。ヒータプーリは、棒状のシーズヒータを内蔵したプーリであり、プーリのみが回転しヒータ自体は回転しない構造である。スチールベルトはヒータプーリで予熱された後、IH 加熱まで移動し、再加熱される。このためヒータプーリから IH 加熱までの移動時間で、どの程度放熱され、温度がどの程

度下がるか見積もっておく必要があり、IH 加熱の解析と放熱解析の両方を行った。

加熱解析として、スチールベルトが IH ヒータにより加熱され、目標の 450℃に達するベルトスピードと加熱に必要なエネルギーを求めた。スチールベルトの幅は 600mm、長さはヒータの大きさに合わせ 1000mm とした。スチールベルトと大気との熱伝達率は、スチールベルト側面のみとし、その他の部分を断熱とした。また、スチールベルトの熱伝導率は、温度による非線形性を有している。解析モデルは、上下対称であるため、1/2 対称のモデルとした。対称モデルとすることは、解析時間 1/2 に短くしつつも、フルモデルと同じ結果を得られるメリットがある。解析の結果、スチールベルト側面からの放熱による影響は少ないことが分かった。この他の解析条件においてもすべて同様の傾向が見られた。実際には、IH 加熱ヒータの熱損失やスチールベルトとの熱伝達を考慮する必要がある。加工する材料も考慮していないため、それによる熱損失を考慮する必要がある。厚さが違うスチールベルトで同じ入力熱であれば、ベルト厚さに比例することが分かった。これによりベルト厚さが変わっても容易に設計変更が可能になった。

ヒータプーリから IH ヒータまでの放熱の解析では、ヒータプーリで加熱されたスチールベルトがヒータまで移動したときの温度を求めた。スチールベルトと大気との熱伝達は、大気と接触するスチールベルト側面と下面とし、その他の部分は断熱とした。また、スチールベルトの熱伝導率は、IH 加熱解析と同じ値を用いた。解析モデルは、上下対称であるため、1/2 対称モデルとした。放熱解析の結果は、プレスボックスやヒータプーリからの加熱による入力熱を考慮していないので、実際には解析結果より高い温度となる。加工する材料も考慮していないため、それによる誤差を考慮する必要がある。前述の IH 加熱解析のスチールベルトの初期温度以上にするためには、ヒータプーリにより加熱する必要がある。スチールベルト厚さやスチールベルトのスピードとの相関は不明確であるが、ベルト厚さが厚くなると温度が高くなる。このことから、ベルト厚さが変更になった場合にある程度の予測ができ、設計変更にも対応可能になった。

また、加熱システムには、温度のフィードバック制御が必要でありスチールベルトの温度を測定し加熱制御をする必要があるが、構造上移動しているスチールベルトの温度を直接測定することが難しい。そのため、熱伝導率が高く、摺動性の高い銅合金をスチールベルトに接触させ、その温度をシース熱電対により測定する方法を実験計測し、応答性能などを検討した。銅合金製のワークピースの間にシース熱電対を挟み、それをホットプレートにより加熱し、放射温度計と併せて測温試験を行った。使用するワークピースの材種は、タフピッチ銅とクロム銅の二種類を使用し、加熱側の板厚や熱電対直径を変更して温度測定を行った。今回使用した材種や板厚による温度応答性の違いはほとんどないことが確認できた。熱電対直径については、 $\phi 1.0\text{mm}$ より $\phi 0.5\text{mm}$ の細いものが応答性がよいことが分かった。ホットプレーとの温度差があることがわかり、実機に組み込み、温度制御

を行う場合でも温度差があることを考慮することや製品の出来上がり状態を確認するなどして、最適な制御を行うことができる仕様とした。

これらの解析結果や要素試験の結果をもとに設計計算を行い、高温高圧連続プレス装置専用の IH 式の加熱システムを新規に開発した。

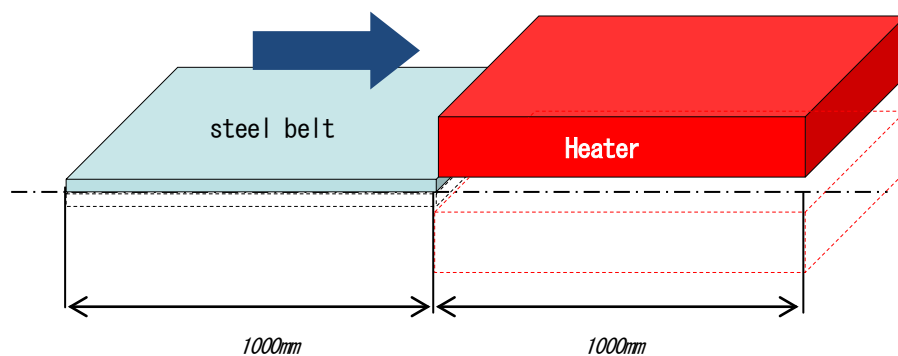


図 2-1-1-1 IH 加熱解析モデル

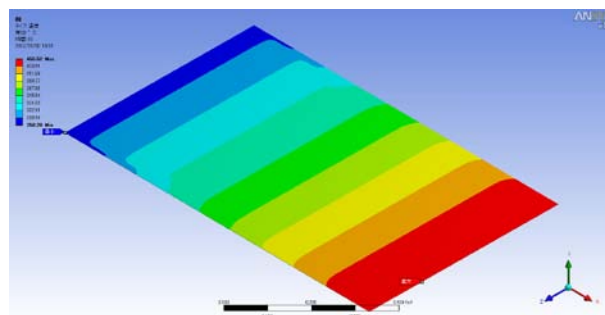


図 2-1-1-2 スチールベルトの温度分布

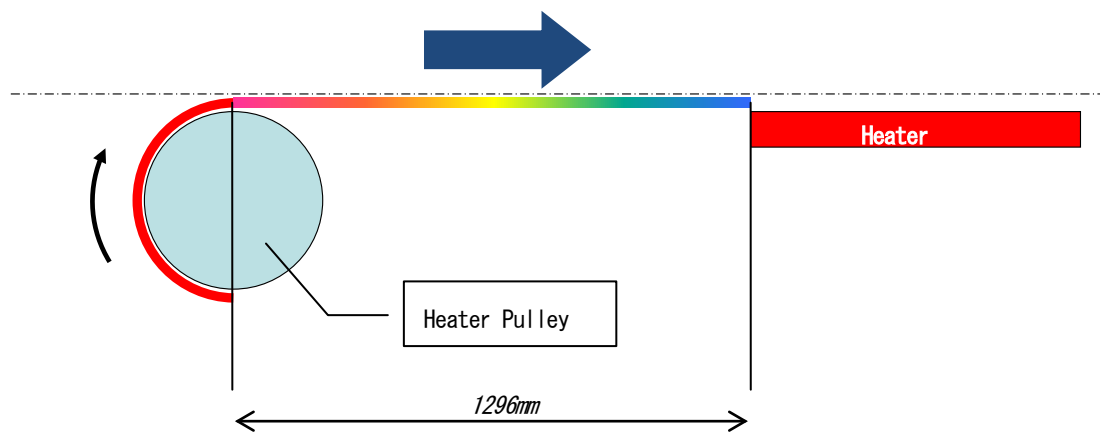


図 2-1-1-3 放熱解析モデル

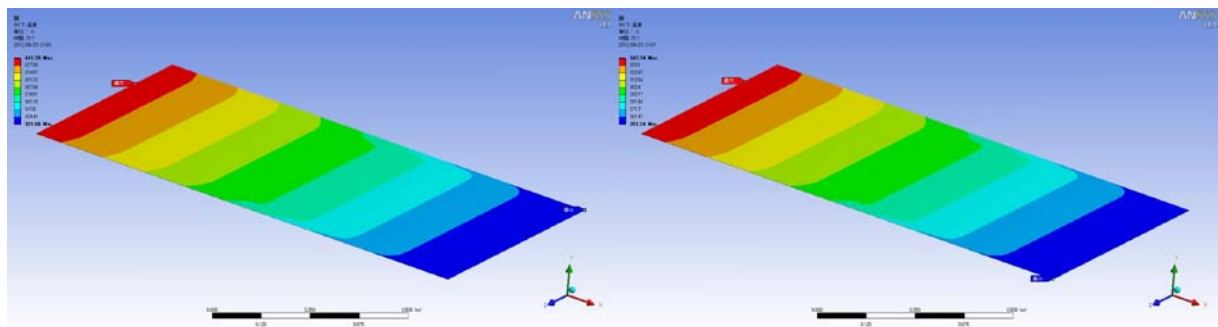


図 2-1-1-4 放熱解析結果

2-1-2 ヒータプーリの開発

ヒータプーリは内部に棒状のヒータを内蔵した構造であるが、一般的にプーリ表面の温度は、中心部が最も高く両端部分に行くに従い低くなる。加工材料が薄い今回の開発では、ヒータプーリの温度分布が回転軸方法に不均一であると、材料の接着不良やスチールベルトの変形なども問題が発生する。そのため、ヒータ及び内部構造を工夫し、プーリ表面の温度ができるだけ均一になる様なヒータプーリを新開発した。その性能は温度分布測定試験を行い確認した。性能試験と同時に、ヒータプーリによるスチールベルトの加熱解析を行い、必要なヒータプーリ温度を求め、ヒータの仕様にフィードバックした。解析では、ヒータプーリに巻きつくスチールベルトの加熱時の動作を忠実に再現することができないため、図 2-1-2-1 に示すように平面形状に展開し、単純化したモデルで解析を行った。その解析結果を図 2-1-2-2 に示す。スチールベルトの長手方向の温度ムラは、ヒータプーリ終端に行くに従い低くなっている。また、ヒータプーリの温度とスチールベルトの温度の間には、ほぼ正比例の関係があることが分かった。これにより、ヒータプーリ温度の設定が容易にできるようになった。

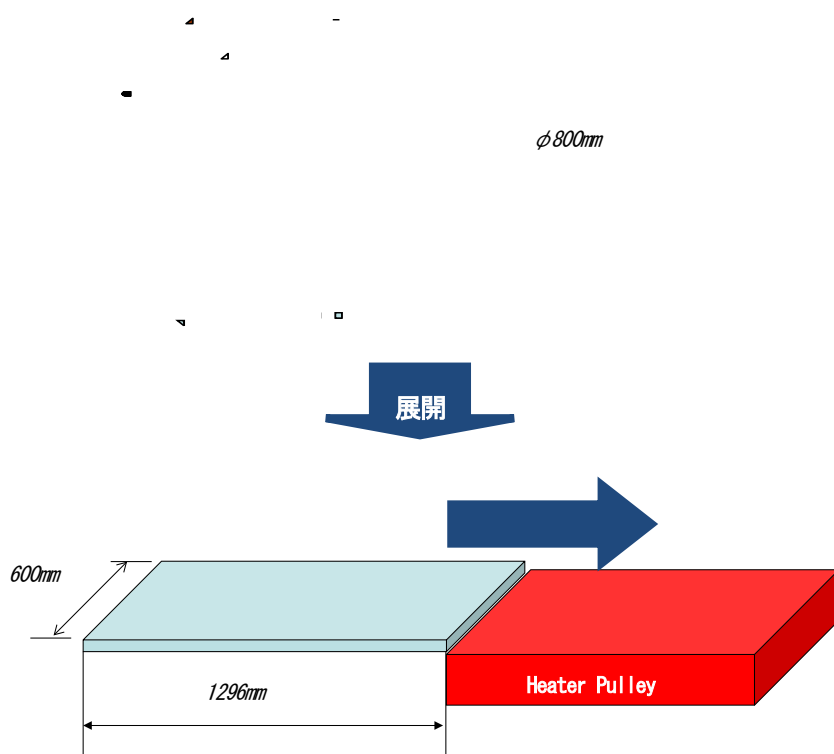


図 2-1-2-1 ヒータプーリによるスチールベルト加熱解析モデル

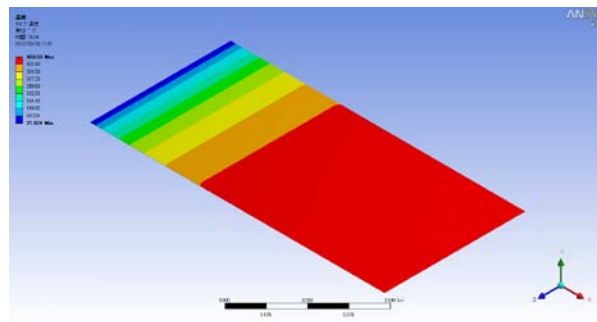


図 2-1-2-2 ヒータプーリによる加熱解析結果

2-1-3 シール構造の開発

10MPa の高圧条件では、これまでの加圧ボックスのシールの構造では対応が難しい。そのため、10MPa に耐えうるシール構造をシミュレーションを用いて検討した。設計モデルのまま解析を行うと、加工材料とスチールベルト、オイルシールなど、多重の接触解析となり、デスクトップワークステーションの処理能力を簡単に越えるため解析ができない。そのため、加工材料とスチールベルトの解析、スチールベルトとシールの解析の二段階に分けて接触解析が多重にならないような手法を考案し、解析を行った。加工材料とスチールベルトの解析を図 2-1-3-1 に示す。解析は、対称形状であることから、対称モデルとし、加工材料にスチールベルトで挟み、厚み方向に圧力を加えたときのベルトの変形を求めた。その結果からスチールベルトの断面形状を求めた。求めたベルト形状を初期条件として与え、この上からシールを変形させ、その変位を評価した。断面形状は、二通りについて検討を行った。断面形状の設計思想としては、断面係数を小さくすることで、スチールベルトの変形にしなやかに追従して変形できる形状を検討した。解析の結果、荷重条件は同じとしても、形状によっては、しなやかに変形しやすいものの、安全係数を考慮すると材料強度を超える応力値が発生することが分かった。さらに、複雑形状では、製造コストが大幅に増大することもあり、単純形状のシール断面形状を採用することにした。

決定したシール断面形状をもとに検討した新規なシール構造による最適なシール形状の変形と応力の解析を行った。スチールベルトの変形に追従しシールが変形しできており、応力についても、問題となる範囲になっていない。シールによる加圧力を小さくできることは、スチールベルトを回転させる駆動モータの消費電力を削減でき、ランニングコストやCO₂の排出量削減に貢献できるシール構造にできた。

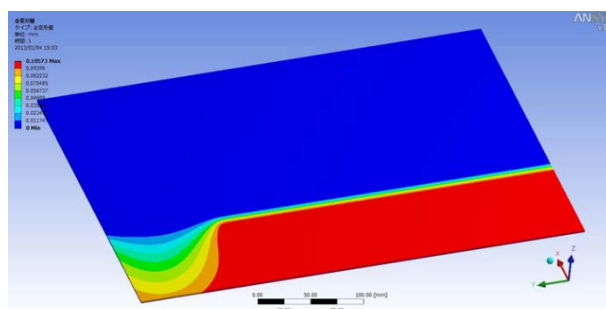


図 2-1-3-1 加工材料とスチールベルトの解析

2-2 高周波加熱装置外装材料の設計

2-2-1 素材の選定と設計

高周波加熱装置の外装材料には高周波により発熱せず、450℃での高温強度に優れた材料候補の中から、設計に適合でき加工性に優れたセメント系材料を部分的に採用した。セメント系材料は熱応力が発生しにくい単純形状にできたために、手計算による評価・設計と実験による不具合の確認のみとした。部分的に採用した。セメント系材料は熱応力が発生しにくい単純形状にできたために、手計算による評価・設計と実験による不具合の確認のみとした。また、加圧室に発生する熱応力を伝熱-構造の連成解析を行い、熱応力を評価した。その結果、熱応力としては、最大応力がシール溝のコーナー部に発生するが、加圧室の材料として炭素鋼を用いれば十分耐え得る強度があることが確認できた。解析手法としては、解析モデルは対象形状であるため1/2モデルとし、変位拘束の方法として、通常の固定方法では応力の特異点が発生することや、計算が収束しないことなどから、弱いバネによる拘束を付与したモデルとすることが最適であることが分かり、最適な設計手法が確立できた。さらに、計算精度は、後述の実機性能試験の結果と比較し相関をとったことで、高精度な予測が可能になった。

2-2-2 素材の性能評価

設計・試作した加熱装置を用いてスチールベルトの高周波加熱の要素試験を行い性能を評価した。加熱装置自体に熱変形が発生すると、スチールベルトとの距離が一定にならず不均一な加熱となるが、十分な均一性が確保できていた。しかし、流れる電流により、ケーブルの温度が上昇することがわかった。そのため、ケーブルの取り回しやケーブル保護管についてこの温度上昇に耐え得る仕様とした。

2-3 加工材料の基礎実験

2-3-1 既存材料製造の基礎試験

既存材料としてのスーパーエンジニアリングプラスチックは、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK；板状及びフィルム状）を選択した。

PEEK の加熱・加圧による積層は、2 種類の実験装置（通電焼結装置及び 7cm 角成形型枠）を使用し、条件は 220℃～425℃、10MPa～30MPa とした。積層に使用した機器は図 2-3-1-1、図 2-3-1-2 に示す。

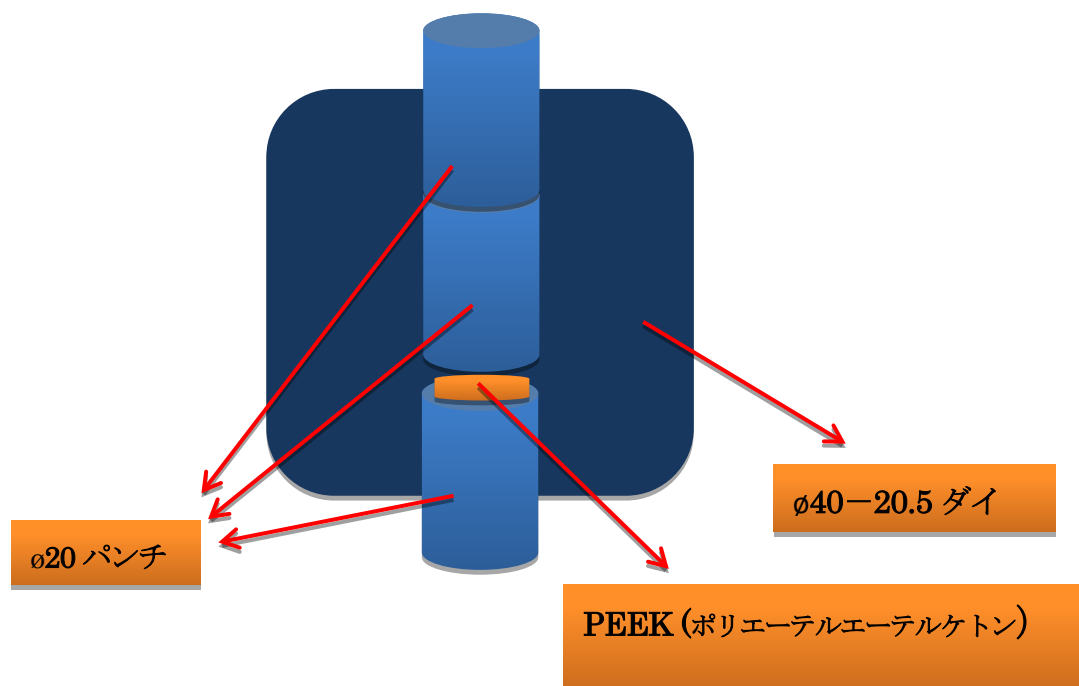


図 2-3-1-1 通電焼結装置による積層実験

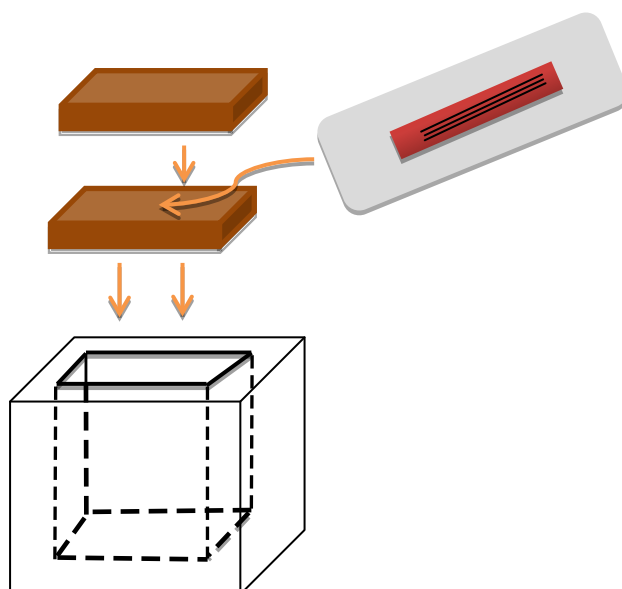


図 2-3-1-2 7cm 角成形型枠による積層実験

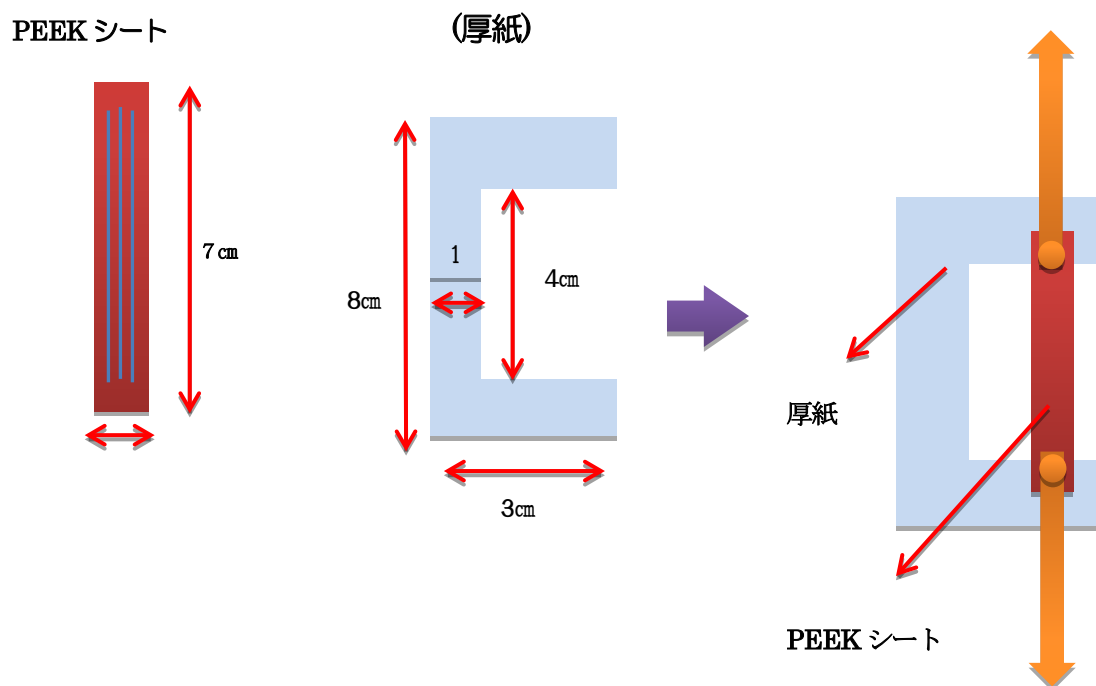


図 2-3-1-3 積層フィルムの引張試験

2 種類の装置で積層したフィルムの評価試験は、積層後の厚さ測定、表面硬度試験、引張試験(図 2-3-1-3)、電子顕微鏡による表面観察、加熱顕微鏡による温度変化観察をそれぞれ行った。各評価試験結果を以下に示す。表面硬さについては、板状 PEEK を通電焼結装置を用いて、220℃～330℃、10MPa～30MPa で積層した後の表面硬度を示す。

PEEK フィルム 2 枚を積層し、加熱温度、加圧による接着の効果を厚さ、引張強度、表面硬さにより検討した結果を図 2-3-1-4～図 2-3-1-7 に示す。

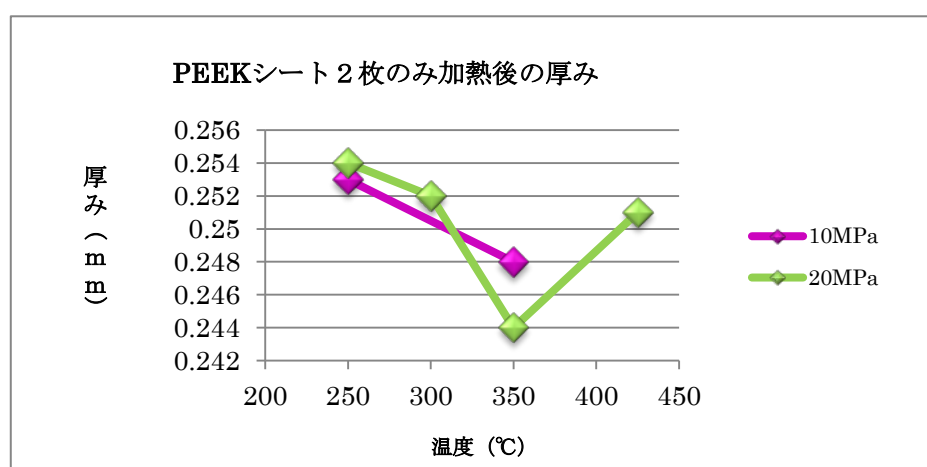


図 2-3-1-4 積層フィルムの引張試験

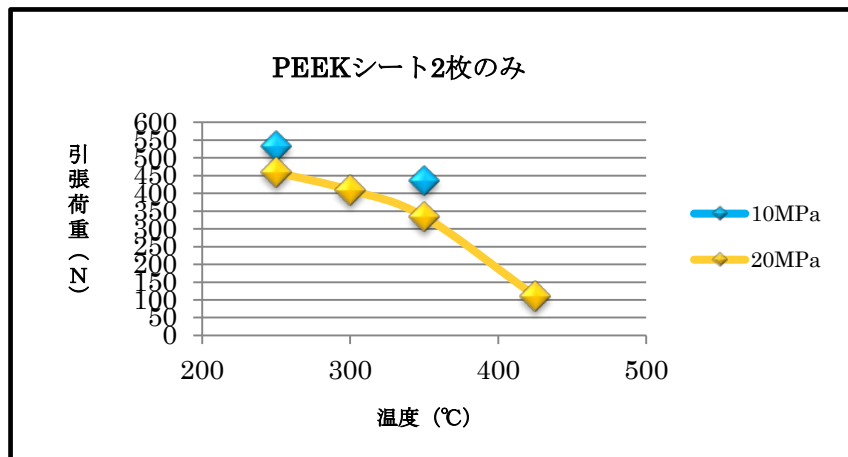


図 2-3-1-5 積層フィルムの引張試験

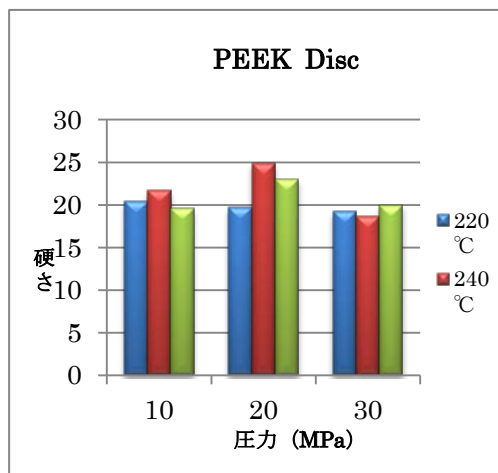


図 2-3-1-6 板状 PEEK の表面硬さ

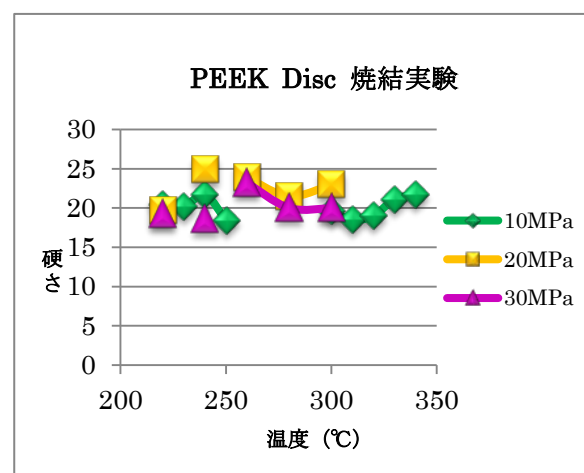


図 2-3-2-7 板状 PEEK の表面硬さ

積層による厚さは、積層の温度が 250～350℃と上昇するにしたがって積層フィルムの厚さは減少し、425℃（20MPa）で増大がみられた。温度に伴う厚さの減少は、PEEK フィルム間のより強い溶着を示している。400℃の増大は成形型枠材料との反応により一部炭化現象が生じており、表面粗さの増大が原因であった。

積層フィルムの引張強度は、積層温度の上昇にしたがってほぼ直線的に減少する傾向があった。また、20MPa における 350℃から 400℃においての大きな減少は、上述の炭化現象による影響があると考えられる。

板状 PEEK の表面の硬さは、220℃～300℃、10MPa～30MPa での加熱、圧縮による変化はほぼみられなかった。これらの条件では、PEEK の表面硬さに及ぼす影響は少ないと考えられる。

2-3-2 新素材製造の基礎試験

PEEK フィルムと炭素繊維材料及び銅箔との積層を実施することにより、新素材としての基礎実験を行った。

PEEK シートの間に炭素繊維を積層したフィルムの引張試験を行った。引張強さ (N) の 10MPa 及び 20MPa における加熱温度変化 (300℃~425℃)、炭素繊維の積層による変化を図 2-3-2-8、図 2-3-2-9 それぞれに示す。また、引張試験後の積層フィルム(425℃、20MPa)の走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察の結果を図 2-3-2-10 に示す。

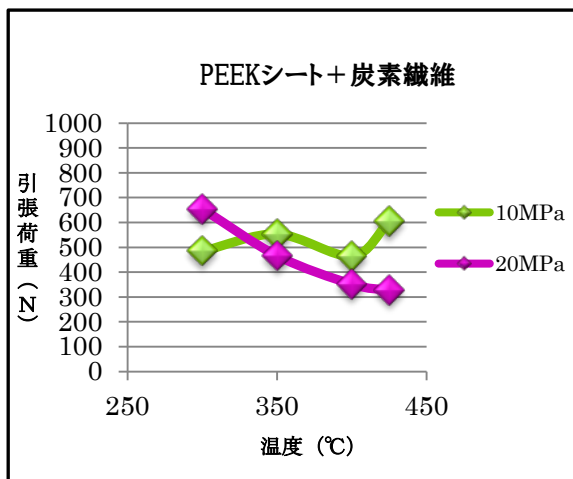


図 2-3-1-8 加熱温度変化による引張強さ

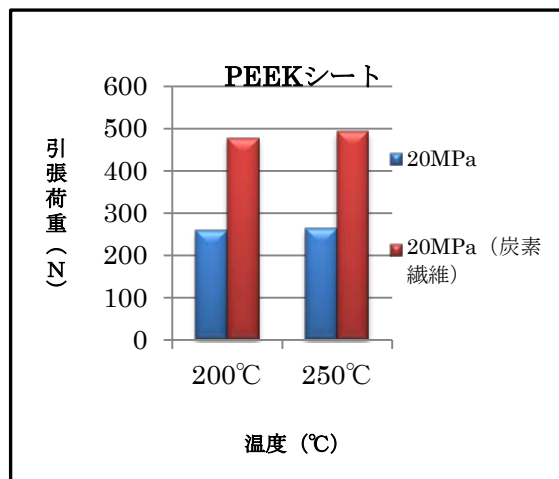


図 2-3-2-9 炭素繊維積層による引張強さ

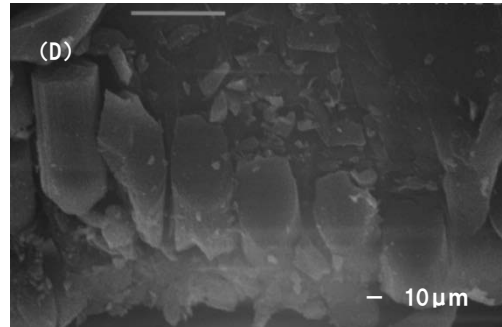
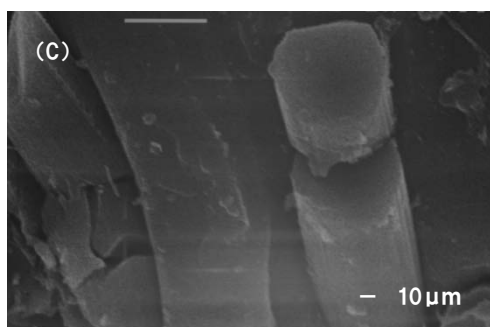
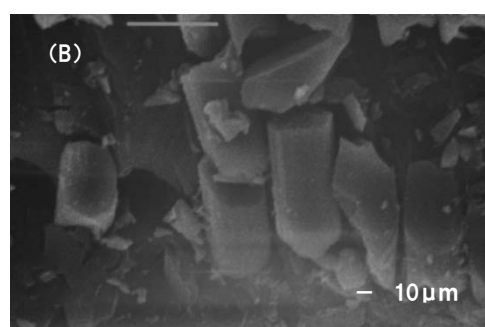
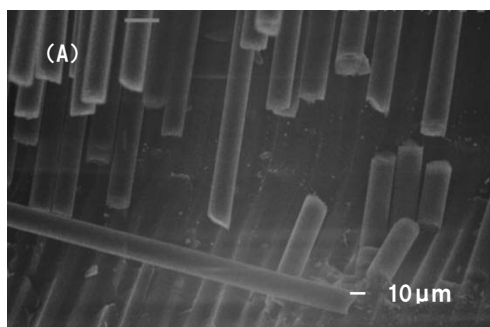


図 2-3-2-10 積層フィルム(425℃・20MPa)の SEM 写真；(A) (C) 繊維の断裂、(B) (D) 繊維の断裂と溶着部

炭素繊維を積層することにより、フィルムの引張強度は約 2 倍の値となり炭素繊維の積層効果を示した。また、20MPa の時、加熱温度が 300℃から 425℃に上昇すると引張荷重は 650 Nから 340 Nに減少した。10MPa の時、加熱温度が 300℃から 425℃に上昇すると引張荷重は 500 Nから 600 Nの範囲にあった。SEM 観察によると、PEEK と炭素繊維の溶着は、400℃以上及び 20MPa 以上で生じていることが分かった。SEM 写真 (A)、(C) から、炭素繊維の断裂の様子が明らかになり、(B)、(D) から断裂した炭素繊維が PEEK 表面に溶着していたことが確認された。

PEEK シートの上に銅箔を積層したフィルムの引張試験を行った。引張強さ (N) の 10MPa 及び 20MPa における加熱温度 (300℃、350℃、425℃) 変化を図 2-3-2-11 に示す。また、図 2-3-2-12 に銅箔積層フィルムの加熱温度変化による厚さ変化、図 2-3-2-13 に積層フィルムの SEM 写真を示す。

PEEK+銅箔+PEEK の積層では、350℃、425℃では銅箔の断裂に伴う積層フィルムの断裂により引張荷重が極端に低い値となった。積層フィルムの厚さについては、加熱温度とともに直線的に小さくなり、溶着が進むことがわかった。

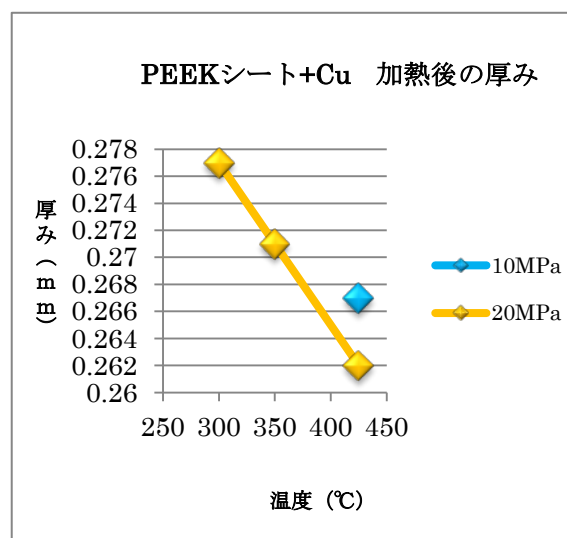
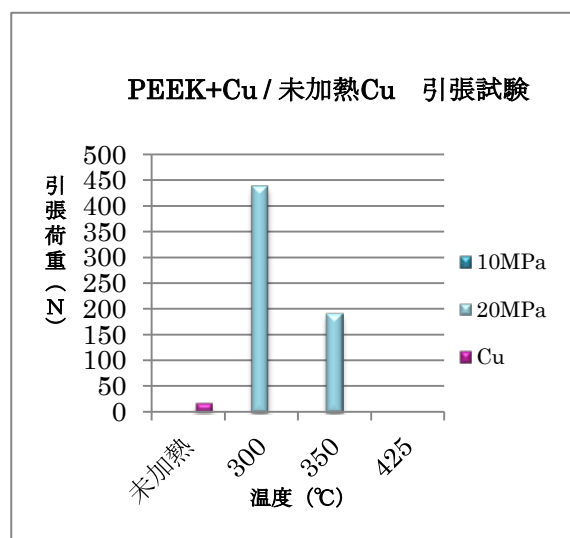


図 2-3-2-11 加熱温度変化による引張強さ

図 2-3-2-12 加熱温度による積層フィルムの厚さ



図 2-3-2-13 積層フィルムの SEM 写真

2-4 実機性能確認

2-4-1 連続プレス装置の性能試験

幅 600 mm、厚さ 1 mm のスチールベルトを速度 1m/min で駆動させヒータープーリ及び IH ヒータによる昇温試験を行った。

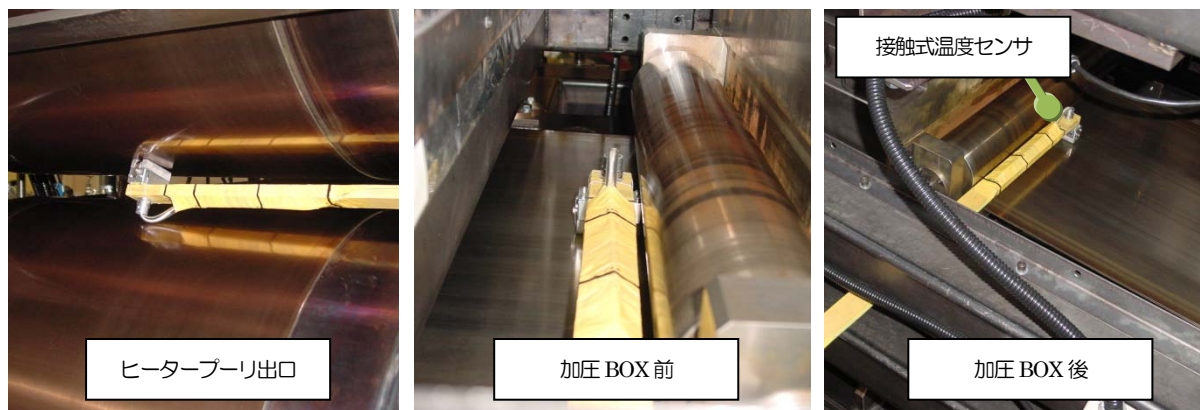


図 2-4-1-1 実機性能試験の様子

次に加圧力であるが、ベルト加圧した時のシールからのオイル漏れ(図 2-4-1-5)と 1m/min で駆動した時のモータの負荷(図 2-4-1-6)を測定した。図より 10MPa でもオイル漏れはほとんど無くさらに適度にシールとベルトを潤滑しモータの負荷も問題なかった。

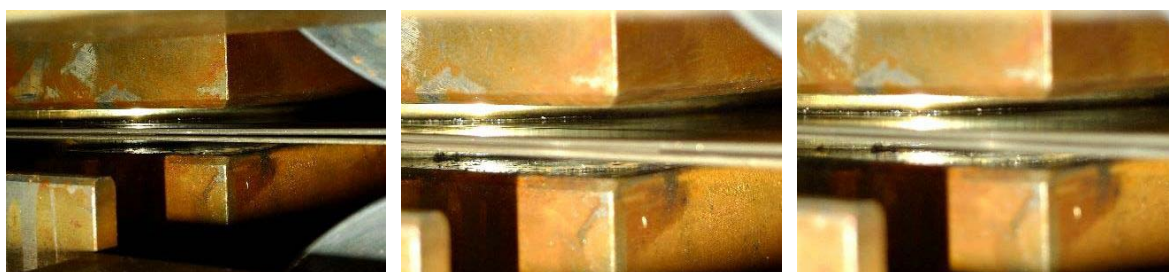


図 2-4-1-2 ベルト加圧した時のシールからのオイル漏れ(左:0MPa, 中:1MPa, 右:4MPa)

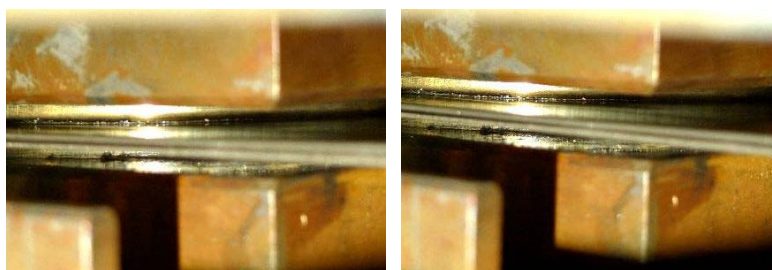


図 2-4-1-2 ベルト加圧した時のシールからのオイル漏れ(左:7MPa, 右:10MPa)

2-4-2 試作品の評価

PE(ポリエステル)とPP(ポリプロピレン)の加熱プレスを行った。

PE と PE の間に紙(文字をプリントしたもの)をはさみ、表 2-4-2-1 の条件でプレスした。3 通りとも表面の性状に違いはなく気泡も無く透明であり文字もはっきりと見えている。全面に均等に圧力がかかっているのがわかる。加圧力を 1MPa から 2MPa にすると図 2-4-2-1 (左)と比較して紙深部まで PE が完全に含浸しているのが分かる。次に IH 出力 20%にした場合、端部が溶けてひも状に固まっている。

表 2-4-1-1 PE の加工条件

ベルト速度	1m/min
ヒータープリー温度	100℃
IH 出力	10%, 20%
オイル温度	40℃
加圧力	1MPa, 2MPa



図 2-4-2-1 PE の加工結果

(左: IH 出力 10%, 加圧力 1MPa 中: IH 出力 10%, 加圧力 2MPa 右: IH 出力 20%, 加圧力 1MPa)

PP と PP の間にステンレス箔をはさみ、表 2-4-2-2 の条件で加工した。IH 出力 20%の場合、加熱温度が足りず PP が融着していない。次に IH 出力を 40%に上げるとステンレス箔が熱影響によりしわになっているに関わらず PP と完全に一体化している。最後に IH 出力を 60%した場合は、温度が高すぎて PP がベルトに張り付きステンレス箔をラミネートできていない。さらに、PP が溶けて泡立ってしまっている。

表 2-4-2-2 PP の加工条件

ベルト速度	1m/min
ヒータープリー温度	170℃
IH 出力	20%, 40%, 60%
オイル温度	70℃
加圧力	4MPa



図 2-4-2-2 PP の加工結果 (左: IH 出力 20%, 中: IH 出力 40% 右: IH 出力 60%)

最終章 全体総括

高温・高圧連続プレス装置専用の加熱システムとして、スチールベルト幅方向に均一に加熱できるヒータプーリと IH 加熱装置を開発した。また加圧システムとして、シリンダ構造を内部に持ったシールシステムも開発した。これらの新しい要素技術を組み込んだ事で、これまでにない高温・高圧下で加工できる連続プレス装置を開発した。

また装置全体を見直しコンパクトに設計したことで従来の装置に比べ補機の設置面積が1/5 程度まで小さくなり、性能だけではなくメンテナンス性も大幅に向上した。エネルギー損失も少なくなり、ランニングコストも抑えることができ、弊社過去実績と比較するとエネルギーは1/2 以下となった。

実機性能確認では当初加圧オイルの漏れやスチールベルトのスリップなどの問題があったが基本設計を変更することなく解決できた。しかしながら更に課題として加圧 BOX 内の放熱を考慮した温度分布の均熱性能を上げること、シール～ベルト間の潤滑性能向上また更には耐久試験も行い問題点を解決していく必要がある。

加圧・加熱システムを更に新しいアイデアとシミュレーションで開発を進め、また上記課題を解決し、より多くの新規ユーザーへの PR や試験加工を積極的に行い市場開拓を進める。