

平成 24 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「液残量が見えるオールプラスチック LPG
ポンベの開発」

成果報告書（概要版）

平成 25 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人富山県新世紀産業機構

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
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	2
1-3 成果概要	7
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	10
第2章 プリフォーム編み（袋状編物）技術及びFW装置を用いたFRP製LPG ポンベの試作	
2-1 研究目的及び目標	11
2-2 実験方法	13
2-3 研究成果	16
第3章 良光透過FRP成形技術の確立	
3-1 研究目的及び目標	24
3-2 実験方法	24
3-3 研究成果	24
第4章 試作品のFRP製LPGポンベの各種評価	
4-1 研究目的及び目標	26
4-2 実験方法	26
4-3 研究成果	29
第5章 耐熱性樹脂を用いた8kg以上ライナーの成形技術の確立及び FRP製LPGポンベの実用化	
5-1 研究目的及び目標	34
5-2 実験方法	35
5-3 研究成果	37
第6章 事業化の取組み	
6-1 事業化取組み成果	46
第7章 全体統括	
7-1 成果の総括	48

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

現在、日本国内のLPガス容器の多くは鋼製の高圧ボンベであるが

- ① 重量が重く配送コストがかかる
- ② ボンベが透明ではなく目視による液量の確認ができない
- ③ 錆が発生する
- ④ 搬送時に騒音が発生する

等の問題点があり改善の要求が強まっている。

一方、欧州を中心とした海外では、プラスチックのライナー（容器）に強化繊維を巻き付けFRP加工したオールコンポジット容器（軽量で液残量の視認が可能であり、耐蝕性に優れている）が実用化されているが、その作製方法はプラスチックライナーに樹脂を含浸させた強化繊維を巻き付けるフィラメントワインディング法（以下「FW法」とする。）のみを適用しており、FW法だけでは繊維の位置ずれを起こしやすく強度的に問題があり、火炎曝露耐性が問題となり日本国内の使用認定許可は得られていない。

これまで北陸エステアール協同組合及び学校法人金沢工業大学では、北陸エステアール協同組合の独自技術であるラッセル型たて編み機によりガラス繊維を使用した袋状3次元編み物を被覆しFW法を適用することで火炎曝露耐性が向上しており下記手法の適正は確認済みである。

よって、本研究開発事業では下記手法により、作業者が安全に消火作業が出来る程度の火炎曝露耐性を有した軽量かつ透明で液残量の視認が可能あり、且つボンベの容量が20kg以上までスケールアップ可能なLPG用FRPボンベの開発を目指す。

1. 北陸エステアール協同組合の独自技術であるラッセル型たて編み機によりガラス繊維を使用して袋状の3次元編み物に横糸（ガラス繊維）を特殊な形状に連続して編み込む技術を確認し、編み物による耐内圧強度を向上させる。また、火炎曝露時に内部の高圧ガスが分散して平均的に抜けるように、編み物のガラス繊維の密度を設計することにより、ボンベの爆発を防止し、安全性を向上させる。
2. 口金部などの耐内圧強度を強化するため、本研究開発事業で作業するFRP製LPGボンベ独自のFW法を開発しボンベ全体を被覆した後にFRP化を行う。
3. 試作したFRP製LPGボンベの評価（重量、光透過性、火炎曝露耐性、ガスバリア性、落下試験後の残存強度確認試験、等）を行い、次年度のボンベ設計に反映させる。
4. 従来型の一体型ボンベ及び新規型の接合型FRP製LPGボンベのライナー・袋状編み物について、難燃性・量産化・生産コスト等の観点から検証するとともに、プロテクターの試作も行う。

本研究の目的は、上記手法を用いて、日本で使用許可認定を得られるような、火炎曝露耐性を保持したFRP製LPGボンベを開発することである。

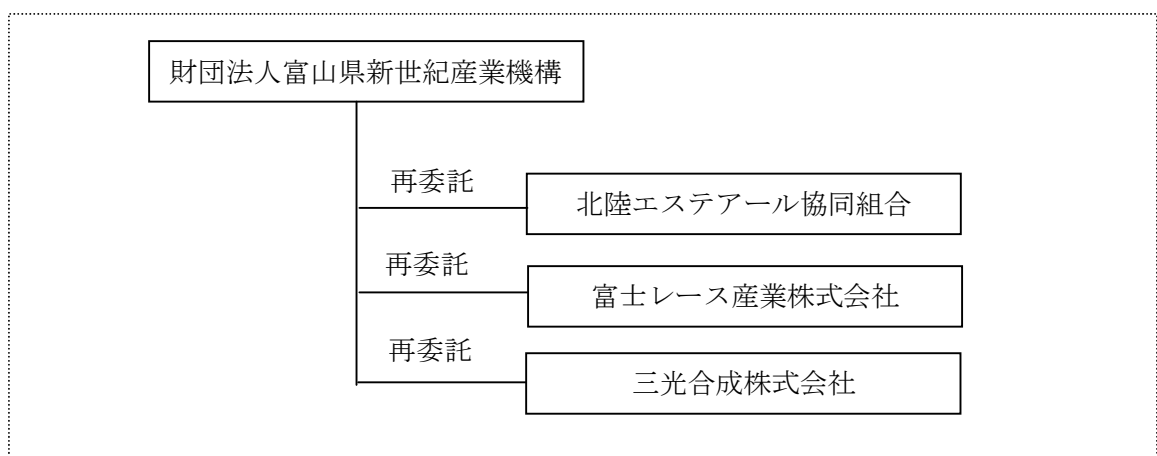
本研究の具体的な目標は、以下に示す。

- ① 容器重量は 5kg 以下(耐熱性樹脂製 8kgLPG ボンベ)
- ② ボンベ内部ガス量が透過して見えること
- ③ FRP 化後の火炎曝露耐性が 3 分以上
- ④ ガラス繊維体積含有量 35%及び FRP 部肉厚 1.5mm 以内の確保
- ⑤ ガス透過量 0.25ml/h/l 以下
- ⑥ 耐内圧強度最低 65 気圧

1 - 2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



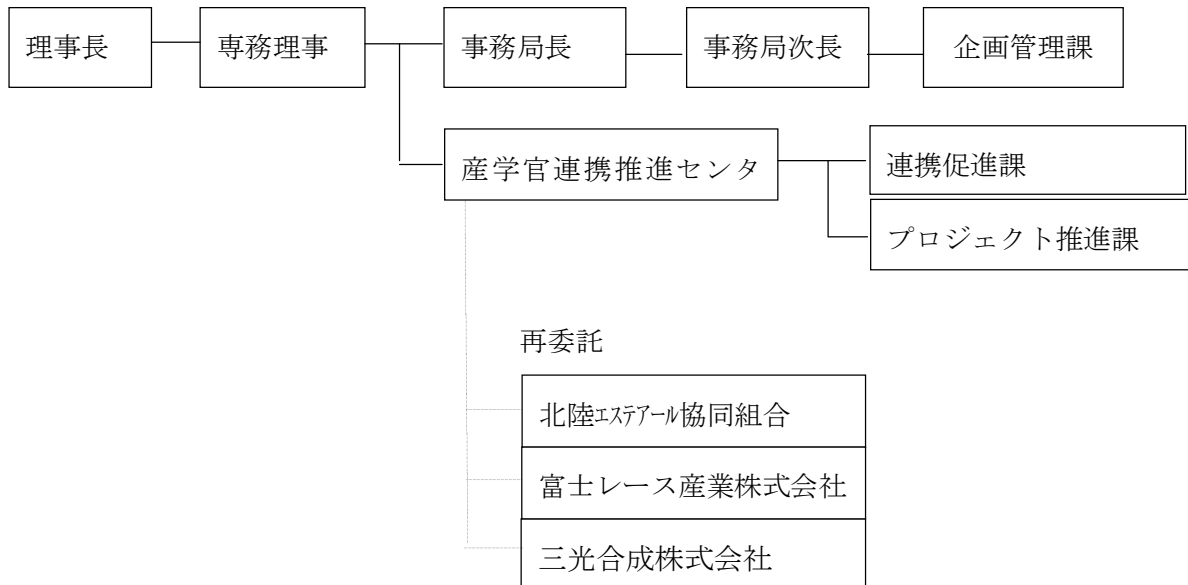
総括研究代表者 (P L)
北陸エステアール協同組合
副理事長 寺本 武郎

副総括研究代表者 (S L)
北陸エステアール協同組合
新技術開発本部
技術顧問 久保村 健二

2) 管理体制

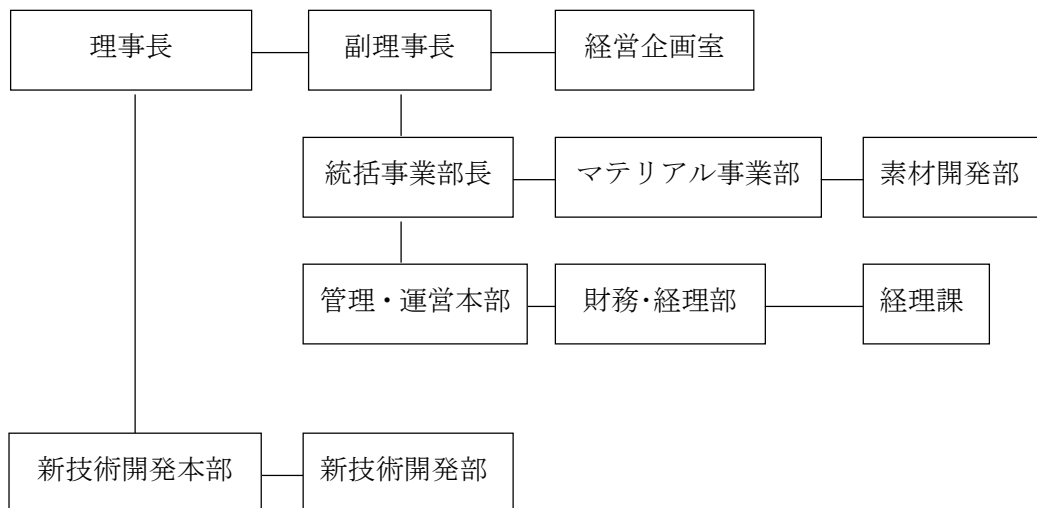
①事業管理者

【財団法人富山県新世紀産業機構】

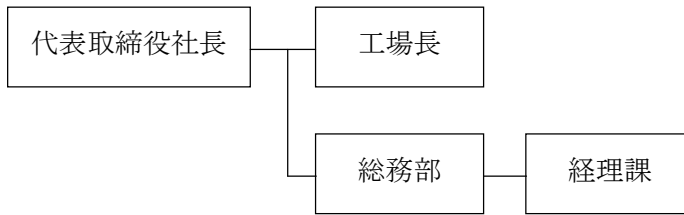


②再委託先

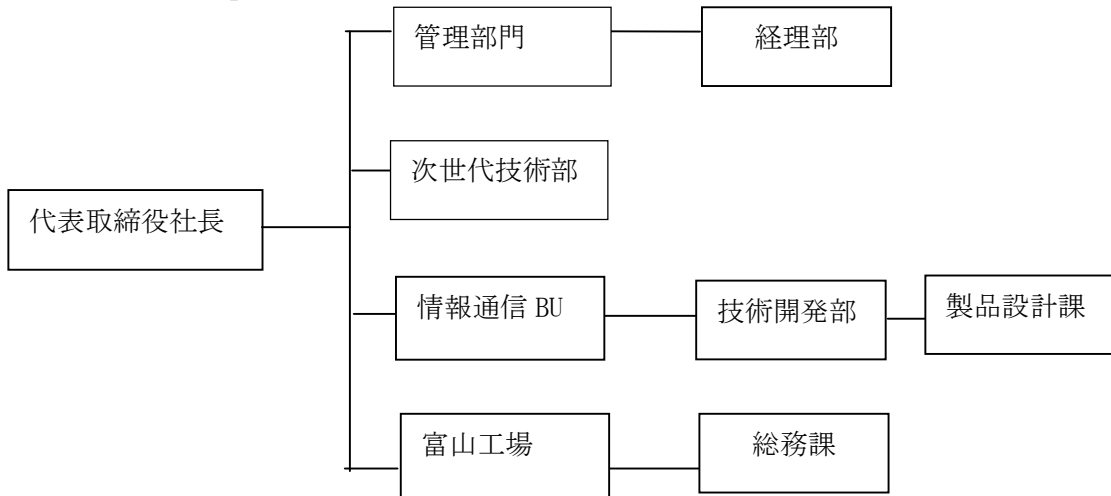
【北陸エステアール協同組合】



【富士レース産業株式会社】



【三光合成株式会社】



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人富山県新世紀産業機構
管理員

氏名	所属・役職
藤城 敏史	産学官連携推進センター長
林 敏和	産学官連携推進センター 連携推進課長
米田 孝志	産学官連携推進センター 連携推進課 産学官連携コーディネーター
竹内 敬人	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 プロジェクトマネージャー
上村 美慎	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 主任
森松 友宏	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 主任
加茂 真理子	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 主事
高森 寛	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 プロジェクト推進員
高原 理恵	産学官連携推進センター プロジェクト推進課 プロジェクト推進員

【再委託先】

研究員

北陸エステアール協同組合

氏名	所属・役職
寺本 武郎	副理事長
久保村 健二	新技術開発本部 技術顧問
白澤 秀和	素材開発部 部長
鈴木 昇	新技術開発本部 新技術開発部
垣内 大吾	新技術開発本部 新技術開発部
西本 通	経営企画室

富士レース産業株式会社

氏名	所属・役職
紺谷 尚昌	工場長

三光合成株式会社

氏名	所属・役職
亀田 隆夫	次世代技術部 課長
森井 信之	情報通信BU 技術開発部 次長
安丸 詳	情報通信BU 技術開発部 製品設計課 主任技師
安田 健一	情報通信BU 技術開発部 製品設計課 技師

協力者（アドバイザー）

氏名	所属・役職
藤田 健	伊藤忠商事株式会社 北陸支店 北陸企画開発室長
上石 一男	日本海ガス株式会社 技術本部 供給部 LPガス供給グループ 課長

1-3 成果概要

① プリフォーム編み(袋状編み物)技術及びFW装置を用いたFRP製LPGボンベの試作

①-1：編み技術の確立

本研究開発品GFRP製LPGボンベのライナーに装着するガラス繊維袋状編物を製作する編技術の研究を行った。ガラス繊維は結節強度、引掛強度が弱く、ニットにおけるループ編成は困難である。しかし編組織の工夫をすることによってガラス繊維袋状編物を編成し、且つガラス繊維を挿入する技術を得た。

このガラス繊維袋状編物は最終製品であるGFRP製LPGボンベの耐内圧強度に貢献し、火炎曝露耐性を保持するものと思われる。更に量産化に向けて不可欠である、生産性、及び製造コストにも配慮して以下通りの成果を得た。

①-1-1：編地の構成におけるボンベ強度向上の検討

平成23年度の研究開発ではダブルラッシュル機に取り付けた特殊装置を使い、ガラス繊維袋状編物にガラス繊維を挿入することに成功した。平成24年度の研究開発ではガラス繊維袋状編物の編構造を精査した。ダブルラッシュル機における編組織の選定を検証することにより、挿入しやすい編成技術の開発とボンベ強度に貢献する次の2点について精査した。

糸の挿入方法：糸が挿入される部分の編組織の選定。

編地の密度：編地におけるコース(タテ)方向、ウエル(ヨコ)方向における適正な編地密度を検証。

ボンベ強度に貢献するガラス繊維袋状編物はライナーに対してフィット性が良くライナーを保護する強度部分は編地密度が密であり、ガスが放出する編地部分は編地の密度を粗くする方向で研究した。糸が挿入される編地部分の編組織の限定を見出した。

①-1-2：低密度部分と高密度部分に使用する編み組織の選定

ガラス繊維袋状編物の編地構成において高密度部分はボンベの強度に貢献し、編地の低密度部分は火炎曝露燃焼時にガスが緩やかに放出される安全弁の役割を担うことを目標に研究を進めた。

編地の低密度部分：ガラス繊維が挿入されていない部分であり、最低限の強度を保ちながら、且つ火炎曝露時にガスが放出される安全弁の役割を持てる構造になるよう設計した。

低密度部分に採用する編組織の選定作業は編地の密度及び編調子を重視し、性能を維持しながら編調子は良好である。

編地の高密度部分：この部分はボンベ強度に貢献する部分であり、編地が厚くならないことが必要である。編地が厚くなると、ボンベが重くなり且つ、透明感が薄れることが予想される。最終的なFRP部の厚み1.5mm以内に抑えるべく編組織の絞込みに成功した。

①-2：FW装置を用いたFRP化

平成22年度に製作した、火炎曝露時の外壁温度上昇に伴い金属部が急激な温度上昇により周りの樹脂が溶解する事を防止するために、金具部とガラス繊維袋状編物を強固な固定を可能としたFW法を実現出来るFW装置を用いて、④で設計した8kgプラスチックライナーにFW法によるFRP化を行った。ガラス繊維袋状編物を被覆した状態でもFW法によるFRP化の手法を見出した。

24年度は製作したガラス繊維袋状編物を被覆したFRP製LPGボンベを簡易火炎曝露試験で評価した。火炎曝露時に多数の小孔からガスが細い火炎と成って放出され、初期の目的を達成する火炎曝露耐性が得られた。FW装置に関しては、改良を加え繊維のバンド幅を一定にし、張力均一化を図った。その後ガラス繊維袋状編物を被覆した状態でのFWを行い、耐内圧性能を最低65気圧以上を達成した。

②良光透過FRP成形技術の確立

FRP製LPGボンベ壁からの内容物を目視可能か確認する為に、④で製作した射出成形を用いた上部ライナー、下部ライナーを熱板溶着で接合したプラスチックライナーに硬化性樹脂を用い、①のFW装置によりFRP化を行った。水を用いて内容物の目視が可能か確認をした結果、ガラス繊維袋状編物の有無に関らず水面が確認できる程、透過性を有した。今後は、更に安価で透明性のある樹脂を用いコスト削減を検討する。

③試作品のFRP製LPGボンベの各種評価

耐圧試験、火炎曝露試験、落下試験等の各種評価の為に、④で製作した射出成形機を用いた上部ライナー、下部ライナーを熱板溶着で接合したプラスチックライナーに硬化性樹脂を用いてFW装置によりFRP化を行った。安全に火炎曝露試験を行う為に樹脂溶接法プラスチックライナーの補強方法を見出し、耐圧試験の結果が安全性確保の基準としている目標値の65気圧に達したが、品質が不安定であったので高圧ガス保安協会が定める「アルミニウム合金ライナー・炭素繊維製一般複合容器の技術基準」及び「圧縮天然ガス自動車燃料装置容器の技術基準」に沿った火炎曝露試験の実施は見送った。しかし簡易的にアルコールを用いた火炎曝露試験を行い、ガラス繊維袋状編物を用いた場合に火炎がボンベ側面からノズル状に噴出している事を確認し火炎曝露耐性が向上したことを確認した。

ガス透過性に関しては、口金部の漏れなしを確認し、樹脂のガスシールド特性よりボンベからのガス漏れは、目標の半分を遥かに下まわると判断した。

落下試験を行い、容器に致命的な破損が発生しない事を確認した。しかし、プロテクターは樹脂型にウレタン樹脂を注型し製作したものであり予想どおり衝撃破損した。プロテクターの応力解析結果と衝撃破損解析より、金属型で耐衝撃性の高い高密度ポリエチレン(HDPE)で成型すれば、衝撃強度が得られると推定できた。

④耐熱性樹脂を用いた8kg以上ライナーの成形技術の確立及びFRP製LPGボンベの実用化

④-1:FRP製ボンベの設計・試作

接合型のLPGボンベのライナーに使用する成形材料として、透明性、ガスバリア性、強度及び、耐熱温度条件を満足できるPEN樹脂(ポリエチレンナフタレート)を用いて、CAE解析により射出成形が可能であることを検証し金型を製作したが、ドーム型の製品のため金型と製品の間が真空になり金型から取り出す際に離型不良や、変形が発生するため、金型の構造と成形条件を見直して、安定して成形できるようにした。

一方、FRP製LPGボンベの開発において口金の接合部の気密性と、ライナーの上部、下部の接着の信頼性が重要な課題であり、口金と樹脂の接合では、口金表面に化学処理をしてインサート成形することで、金属と樹脂が化学的に接合されて、接合部からのガス漏れ防止に効果があることを確認していたが、その接合条件と強度との関係を検証して、量産時の接合条件を確立することができた。

また、ライナーの上部、下部の接着では、熱板による溶着技術を確立するために、熱板溶着機を導入して溶着のバラツキのない信頼性のある溶着方法を確立するため、溶着試験を繰り返して溶着する製品の精度と溶着強度の関係を調べることで安定した品質でLPGボンベのライナーを熱板溶着ができる条件を確立することができた。

接合型のLPGボンベの商品化のためには、意匠性と可搬性を考慮し、接合型のLPGボンベを外部からの衝撃や紫外線等の自然環境から保護するプロテクターを装着する必要がある、CAE解析による強度計算をもとに機能性のあるデザインで設計を行った。

設計の妥当性については、量産時に使用する材料と衝撃特性は劣るが強度・剛性で同様の物性をもった樹脂で試作品を製作し、落下試験において、接合型のLPGボンベを保護する機能があることを確認した。

⑤ 事業化の取組み

国内のLPG用FRPボンベの製造基準・安全基準が現在検討されている。年内には作成が完了する予定であり、LPG用FRPボンベの基準が制定されたらその基準に則って認定に必要なデータを取得していく。

事業化にあたりFW機、ライナー成形装置等の仕様、金属加工手段、コンベアや検査室などの付帯設備レイアウトの検討を行った。詳細なレイアウトについては本年度中に行う。

事業体制として、LPG販売会社、商社、本事業に参加したメーカー等の意見を伺っており、LPG用FRPボンベの認定取得開始までには具体的な会社名と参加の形態を明確にしていく。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

(1) 事業管理者

法人名：財団法人富山県新世紀産業機構（代表者 理事長 石井隆一）
住 所：〒930-0866 富山県富山市高田529番地
連絡担当者、所属役職名：藤城敏史 産学官連携推進センター長
TEL：076-444-5636 FAX：076-444-5630
e-mail：fjk@tonio.or.jp

(2) 総括研究代表者

氏 名：寺本武郎
組織名：北陸エステアール協同組合
所属役職名：副理事長
TEL：0766-61-4545 FAX：0766-61-4609
e-mail：t.teramoto@str.or.jp

(3) 副総括研究代表者

氏 名：久保村 健二
組織名：北陸エステアール協同組合
所属役職名：新技術開発本部 技術顧問
TEL：0766-61-4545 FAX：0766-61-4609
e-mail：kubomura@yourdream.co.jp

(4) 研究実施者

研究実施機関	代表者役職 氏名	連絡先
北陸エステアール 協同組合	理事長 山口哲雄	〒932-0121 富山県小矢部市矢水町 355-1 TEL:0766-61-4545 FAX:0766-61-4609
富士レース産業 株式会社	代表取締役 山口哲雄	〒932-0121 富山県小矢部市矢水町 355 TEL:0766-61-3133 FAX:0766-61-3135
三光合成株式会社	代表取締役社長 黒田健宗	〒939-1698 富山県南砺市土生新 1200 TEL:0763-52-7114 FAX:0763-52-3898

第2章 プリフォーム編み（袋状編物）技術及びFW装置を用いたFRP製LPGボンベの試作

2-1 研究目的及び目標

①-1：編技術の確立（担当：富士レース産業株式会社）

本項目では、開発品であるFRP製LPGボンベの第2層（ガラス繊維袋状編物+FW）のガラス繊維袋状編物について以下のとおり研究開発を行った。

①-1-1 編地の構成におけるボンベ強度向上の検討

本研究開発ではFRP製LPGボンベの作成にあたり、次工程のFWの効果を高める為にも、その内側に位置するガラス繊維袋状編物は、一定の強度を持つ部分と、火炎曝露時にLPガスを分散して放出させる構造を持つ部分を持ち合わせていることが必要である。ボンベ強度に貢献する編地構成は

- 1) コース（タテ）方向及びウエル（ヨコ）方向の密度が高いこと。
- 2) 編地が厚いこと。（FRP後の厚み1.5mm以内は厳守）
- 3) 糸（ガラス繊維）が挿入されていること。

上記3項目において編組織の検証を行い、糸が挿入しやすい編組織を選定し、ライナーに被せやすいガラス繊維袋状編物を得ることを目的とする。

①-1-2：低密度部分と高密度部分に使用する編み組織の選定

本研究開発で作製するFRP製LPGボンベでは、プラスチックライナーに被覆するガラス繊維袋状編物を、低密度部分と高密度部分の二つの構成から作成する。この2つの構成比率を特定し、その構成比率を基にAとBに使用する編組織を検証する。

低密度部分：糸が入っていない部分（孔に近い状態で火炎曝露時にLPG分散して放出させる構造を持つ部分）編地の状態は最低限の強度を持ち、編組織の選定作業は「孔」の大きさ及び編地の密度状態を検証しながら実施した。

高密度部分：ガラス繊維を挿入した部分（FRP製LPGボンベの耐内圧強度の向上に寄与する構造を持つ部分）編地が厚くならないようにすることと、糸に負担がかからない編成技術及び編組織を検証する。

上記の特徴を目標として編組織の選定を行い、ガラス繊維体積含有量35%及びFRP肉厚1.5mmの達成を検討する。また、編組織毎のFRP化を行い強度及び樹脂含有量を測定する。

①-2 FW装置を用いたFRP化（担当：北陸エステアール協同組合）

本項目では、開発品であるFRP製LPGボンベの第2層（ガラス繊維の3次元編物+FW）のFW部分について以下のとおり研究開発を行った。

①-2-1 消火作業可能な火炎曝露特性の向上

火炎曝露特性を向上させる目的で被覆した袋編みを強固に樹脂ライナーへ固定するため独自のFW装置を平成22年度に設計・製作を行い、さらにロービングバンド幅の拡大と一定テンションの確保を行った。

①-2-2 耐内圧強度最低65気圧、低コストFRP製造コストの検討

平成22年度には耐内圧強度に関して強化繊維量を強度計算し、繊維の巻き方については完成品モデルを木製で試作し検討を行った。平成23年度は検討を行ったFW法を用いて、FRP化を行い、耐圧試験を実施し耐内圧強度最低65気圧以上を得た。また、平成24年度にはプラスチックライナー下部に必要であった下金具を廃止するFW法を考案し軽量化と低コスト化を図った。さらにFRP層を形成する硬化性樹脂を透明度の高く、安価な樹脂を材料メーカーと検討した。FW法の改良、FWする際のバンド幅を広幅、薄厚とするためのアタッチメントの設計・製作を行いFW工数の低減を図った。

2-2 実験方法

①-1 : 編み技術の確立 (担当 : 富士レース産業株式会社)

①-1-1 : 編地の構成におけるボンベ強度向上の検討

ガラス繊維袋状編物の編地構成の中で、一定の強度を持つ高密度部分の設計内容に必要な項目を検証した。

- 1) 編地の密度 (コース (タテ) 方向及びウエル (ヨコ) 方向の密度が高いこと。)
コース (タテ方向) 方向にコース数が多く且つガラス繊維がヨコ方向に挿入される編地状態を高密度部分として設計をする時、コース密度を多くすると同時にコース編成毎にガラス繊維をループ形成時に挿入していく必要がある。
コース (タテ) 方向の編地の密度は編組織と編コースで決定する。
一般的な長繊維を使用しているニット編成では編コースの変更及び編組織の変更は容易であるが、本研究開発の袋状編物はガラス繊維を使用する為、ニット編成における編技術の制約はあったが、編コース数とそれに伴う編組織におけるランナー (糸量) の設定は編組織毎に編成条件を確保した。

前述の編地構成における編コースの変更は「ダブルラッセル機に付属する装置」を製作した際に編機本体の編地巻取り装置をインジェクションモーターよりサーボモーターに変更していることから容易であるが、使用する素材がガラス繊維である為、コース変更際の変り目における編成技術が困難であった。供給糸量とのバランスを考慮することによって編みやすい編成条件を見出した。

- 2) 編組織 (編地が厚いこと。FRP 後の厚み 1.5mm 以内は厳守)

ガラス繊維袋状編物の地組織を編成しながら挿入装置における箆の運動 (ヨコ方向と上下運動) とのタイミングは編組織及び編成内容によって変更が必要である。

各種条件を実験し最適な編地を予測した。

シンカーループの距離が多くなると糸量の消費も多くなり、編地も厚くなる方向になる。

ガラス繊維袋状編物はガラス繊維で構成している為、ニードルループの編成が非常に困難である。ガラス繊維は結節強度や引掛け強度が弱く、ニードルループ編成時は「糸が折れる」ような現象を起こして糸切れを発生させる。

この現象を回避する方法として見出した編組織、糸量、設定コースの組み合わせを行うことによって編成可能とした。

3) ガラス繊維が挿入されていること。



図 2.1 特殊装置を取り付けたダブルラッセル編機

ガラス繊維袋状編物の強度を増す為によりガラス繊維を編地の中に挿入することが出来た。

しかし、予想していたよりも編地が膨らんでいる。ガラス繊維袋状編物に強度を増すことが目標である為、編地そのものが厚い方が良いと考えていたが編地が薄くても、糸が挿入されると編地にはしっかり感が出て来る。これは編成上好都合であった。

①-1-2：低密度部分と高密度部分に使用する編み組織の選定

ガラス繊維袋状編物の編地構成における低密度部分の役割は火炎曝露時にガスの放出を容易にする事と目標している。よって高密度部分ほどの強度は無いが、目標の耐内圧強度 65 気圧を維持できる状態としなければならない。

低密度部分は糸が挿入されていない部分であり、この部分の編組織は「孔」の状態を持った編組織を採用し、それを保持する手法として下記の 3 通りがある。

- 1) 編組織
- 2) 糸配列 (タテ方向において無地部とメッシュ部を作る)
- 3) 編地の密度

上記の 3 種類を検討する。

1) 編組織

ガラス繊維袋状編物における低密度部分は最低限の強度を持ち合わせていなければならない。編組織の選定は 8 種の組み合わせで選定した。ウエル方向ヘシンカーループが 3 針以内で移動することによって編地は厚くならず、逆に「伸び」を持たすことによって強度が向上することを見出した。

2) 糸配列

上部はメッシュ調、下部は無地調に変化する編地が得られる配列を見出した。糸配列及び編組織の選定は今後、対内圧強度試験と火炎曝露試験の結果を踏まえて改善していく。

3) 編地の密度

コース（タテ）方向の編地の密度は編組織と編コース（ループ数/吋）とランナー（糸量）で決定する。編組織及び編地密度によるランナー（糸量）は編組織毎に編地密度によって変更は可能であるが、ガラス繊維を使用しているガラス繊維袋状編物の編成においては困難であるが、編組織と糸量のテンション管理を工夫することによって編成可能とした。

編成条件を精査した上で、今後 GFRP 製 FRP ボンベにおける性能として耐内圧強度の向上と火炎曝露試験時の特性を強調出来る試験結果に貢献するガラス繊維袋状編物を作成していく。

今までの研究ではライナーを FW（フィラメントワイディング）のみで保護する手法では、ライナーに内部圧力が付加された時、巻きつけているガラス繊維がずれる現象が起きライナーを保護することが困難であった。今回のガラス繊維袋状編物はこの問題を解決するものである。

①-2 : FW 装置を用いた FRP 化(担当：北陸エステアール協同組合)

①-2-1 : 消火作業可能な火炎曝露特性の向上

ガラスロービングをガラス繊維袋状編物で被覆したプラスチックライナーに FW する際に、金具部分と袋状編物を強固に固定するために、突起部(金属金具部)からプラスチックライナー部にかけて連続して巻き上げる方法を検討する。その有用性は FRP 製 LPG ボンベ製造プロセスを終了後、火炎曝露試験で火炎の成長観察とボンベの内圧測定結果、消火後のボンベ破損観察結果により判断し改良を確認。

①-2-2 : 耐内圧強度最低 65 気圧、低コスト FRP 製造コストの検討

平成 22 年度には耐内圧強度に関して強化繊維量を強度計算し、繊維の巻き方について木製の完成モデルで検討を行った。この検討した FW 法を用いて FRP 化を行い、耐圧試験を実施し耐内圧強度最低 65 気圧以上を目指す。

FRP 製造コストの低減に関しては、

- 1) プラスチックライナーと金具密着部分での LP ガス漏れ防止が可能な、プラスチックライナー製造法と金具の低コスト形状を検討し、プラスチックシリンダーと金具の製造コストを評価し改良する。
- 2) 設計・製造した FW 装置で、FW プロセスでの製造コスト低減に注力する。金具数の低減とワインディングの高速化に関しては以下を検討する。
 - ・ 金具数低減時の FW 法の検討
 - ・ ワインディングの高速化
 - ・ 樹脂の短時間硬化
 - ・ 多重繊維ストランドワインディングワインディング作業の簡易化に関しては以下を検討する。
 - ・ プラスチックライナーの FW 装置への取り付け方法
 - ・ FW 開始時の繊維フィードとプラスチックライナーへの固定

- ・ FW 終了時の繊維固定と取り外し
- ・ プラスチックライナーの FW 装置からの取り外し製造次工程へのスムーズな流れ

2-3 研究成果

①-1：編み技術の確立（担当：富士レース産業株式会社）

①-1-1：編地の構成におけるボンベ強度向上の検討

8kg プラスチックライナーに被覆可能なガラス繊維袋状編物を製作した。

その編地構成は低密度部分と高密度部分の編地構成を持ったサンプル X と Y の作成することに成功した。

サンプル X：ガラス繊維袋状編物の編地構成の中で高密度部分が多くなっている。これは耐内圧強度（最低 65 気圧）を優先してライナーを被覆している中で、低密度部分からのガスの放出がどの程度あるのかを見極める内容の編地構成とした。胴部における高密度部分は挿入糸が 100C(コース)挿入され、低密度部分は 40C(コース)挿入糸が入っていない。低密度部分は編地の密度を粗くしており、耐内圧試験及び火炎曝露試験の結果を検証しながら、編組織の改善を実施していく。

サンプル Y：ガラス繊維袋状編物の編地構成の中で高密度部分は多いが、低密度部分を点在させている配置になっている。これは耐内圧強度を優先しながら、火炎曝露試験時にガス放出が均一に、全体的に放出されることを予測して作成している。胴部における高密度部分は挿入糸が 4C(コース)挿入され低密度部分は挿入糸が 1C(コース)挿入されていない。ライナーの上部と底部には挿入糸あり、上部口金部と底部の強度に貢献している。低密度部分は編組織による手法で編目をメッシュ調にしている為、サンプル X とは違うガスの放出を期待するものである。ライナーの胴部全般に細かく「孔」が位置していることと、挿入糸も胴部の全般に配置していることから耐内圧強度が良くライナー胴部全般からガスが放出されることが予想される。高密度部分は糸が挿入されていれば高密度になる為、低密度部分の編組織と同様の編組織を選定した方が「編調子が良い」ことは検証済みであり、耐内圧強度を安定して保持する為には低密度部分と高密度部分の編組織を 1 針振り多くする必要があると考える。その場合、低密度部分からのガス放出を安易にする為には「孔」の部分はメッシュ調にすることが重要である。耐内圧試験及び火炎曝露試験の結果を踏まえて改善していく。

簡易火炎曝露試験

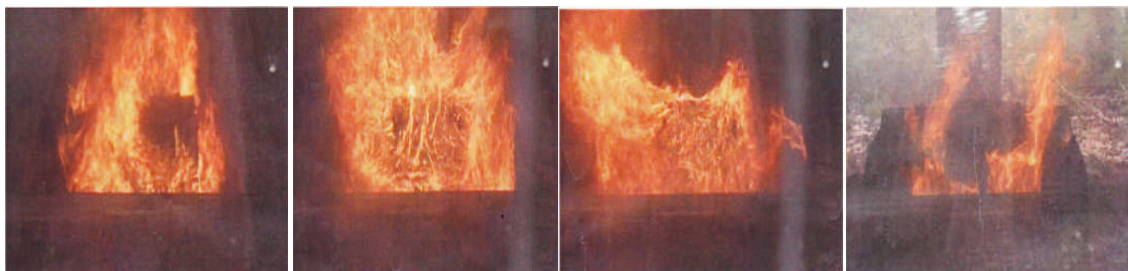


図 2.2 ガラス繊維袋上編物の被覆無し



図 2.3 ガラス繊維袋上編物 サンプル X を被覆



図 2.4 ガラス繊維袋上編物 サンプル Y を被覆

<火炎曝露試験状況>

ガラス繊維袋状編物の被覆無し：ガラス繊維袋状編物を被せたものよりは炎が大きく短時間で燃焼した。ライナーからガス放出されなくなる時間は 9 分の経過を要する。

図 2.2

ガラス繊維袋状編物サンプル X：ガラス繊維袋状編物なしのボンベより炎の大きさ小さい。ライナーからガスが放出されなくなるまでの時間は 12 分の経過を要する。

図 2.3

ガラス繊維袋状編物サンプル Y：ライナーからガスが放出されなくなるまでの時間は 12 分 30 秒の経過を要する。

図 2.4

①-2-1：消火作業可能な火炎曝露特性の向上

フィラメントワインディング（以下FW）において、均一なロービング厚さと幅を確保することは必須である。火炎曝露時においてライナー溶解後、袋編みと同様にガス放出による火炎の急成長を防ぐ細かいガス放出孔をFRP層で形成させるため、①ガラスロービングのテンションの一定化、②幅広で均一な厚さのロービングバンド幅の検討を以下の様に行った。

・最適なロービングバンドの確保

図 2.5 のようにロービングのロールの内側から取り出した場合、1 mあたり数回ねじれが生じる。ねじれのあるロービングは厚さ・広がり、ロービング間の隙間にバラツキが多く、均一なロービングバンドの確保が困難である。そこで図 2.6 の簡易のクリルを用いてロービングを外側から取り出す確認を行った。ロービングはねじれ・裏返り無くスムーズに取り出せることを確認。この方法でロービング幅確保に必要な本数を設置し、FWテストを行った。図 2.7 に構想図を示す。

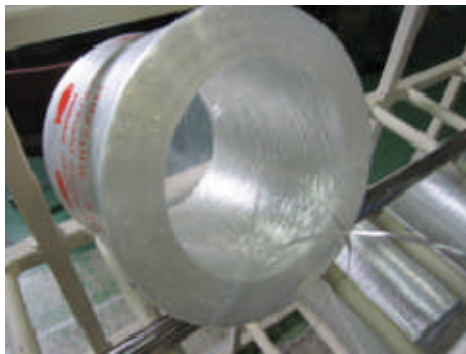


図 2.5 ロービング内側出し



図 2.6 ロービング外側出し

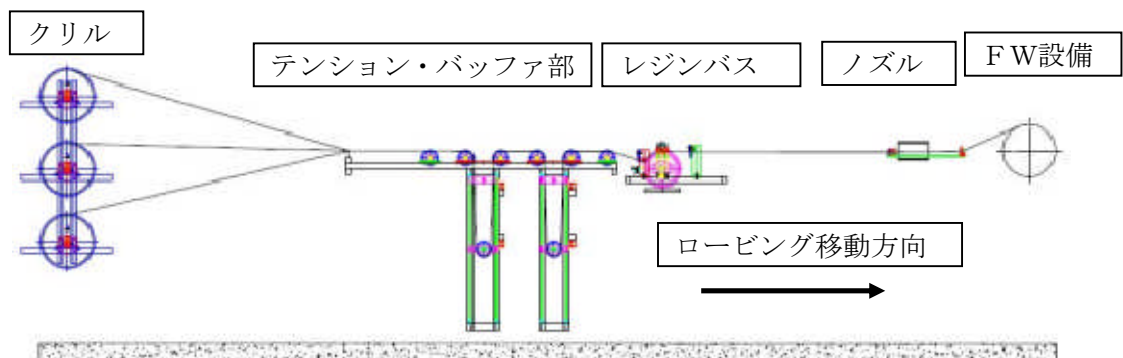


図 2.7 ロービング供給システム構想図

クリル部で外側から取り出されたロービングは、テンション・バッファ部でロービングに必要なテンションを与え、センサーで使用量を検出、レジンバスで樹脂を含浸、FW設備へ供給される。クリル部は、テンション・バッファ部からの信号でFW設備での使用量にあわせ自転する。最終的にFW設備ノズル部（図 2.9）で設計値の幅を確保する図 2.8

に実際試験的に設置した装置全体を示す。この間でのロービングねじれは完全に除去され厚さのバラツキは無い。図 2.10 ロービング内側出し、図 2.11 に外側出しのFWの様子を示す。

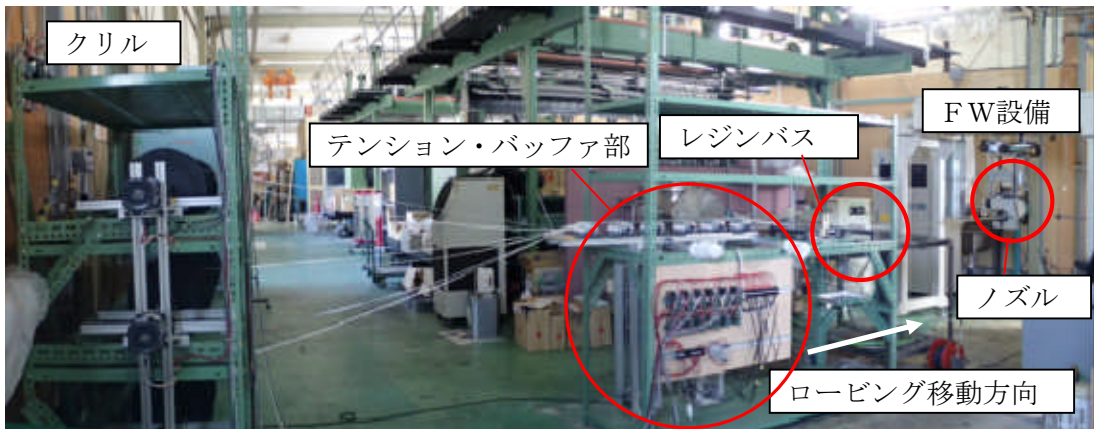


図 2.8 FW 装置全体



図 2.9 FW 設備ノズル部

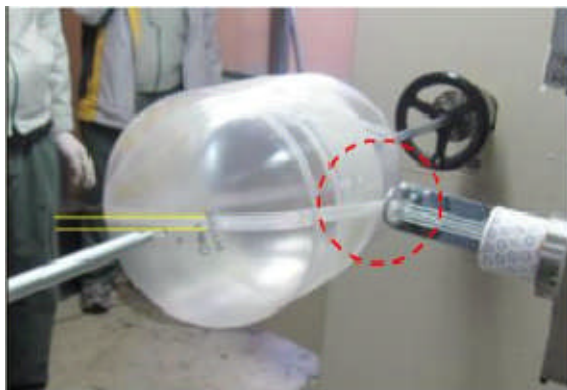


図 2.10 ロービング内側出し FW



図 2.11 ロービング外側出し FW

図 2.10 はロービング 5 本使用で幅約 1.5 mm、図 2.11 はロービング 6 本使用で幅約 2.5 mm。1 本あたり約 30% 幅を拡大。

・フィラメントワインディング（方法）検討

本研究では軸部異径のFWを行った。口金側（部）外径は共通で $\phi 46\text{ mm}$ 。ライナー底部軸径や形状、底金具取り付け面埋め込み有り・無しなど変更している。（①-2-2 図 2.18 にライナー底形状の履歴参照） 図 2.12~2.14 に形状とFWの様子を示す。



図 2.12 TYPE 2 底部に $\phi 7\text{ mm}$ の軸を設けたタイプ

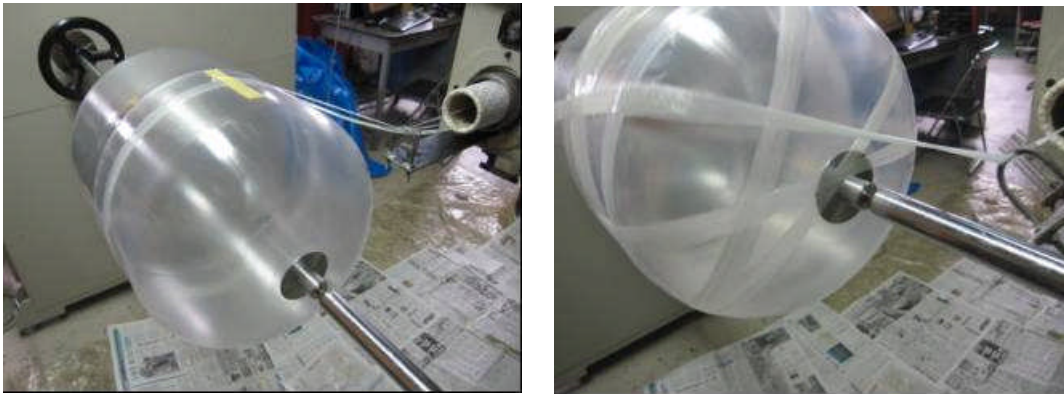


図 2.13 TYPE 3 底部に $\phi 55\text{ mm}$ のフランジ付き底金具を設けたタイプ。フランジ部はライナーに埋め込み。軸は $\phi 20\text{ mm}$ 。



図 2.14 TYPE 4 本研究の最終形状の底金具。 $\phi 55\text{ mm}$ でフランジ部厚さ 1.5 mm はライナーの外側に出ている。左図の様に先ずフランジの外径部を狙いFWを施す。その後右図の様にフランジ厚さ分をロービングで埋めてから金具を覆う。

・袋編みを用いたフィラメントワインディング

図 2.15 に袋編みを被せたライナーでのFWの様子を示す。

TYPE 4 のライナーと底金具に袋 Y を装着したもの。口金側、底金具側共、ロービングで縛る形でFWを開始する。

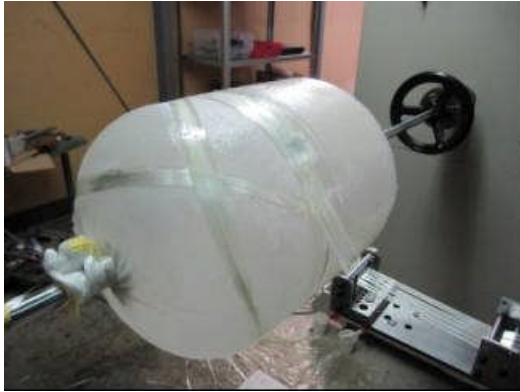


図 2.15 袋編み装着FWの様子

・容器の概要

開発された容器の重量を 5 k g 以下、ガラス繊維体積含有量 35% 及び FRP 部肉厚 1.5 mm 以内の確保、ガス透過率 0.25 mL/h/L 以下を確保している。

表 2.16 に LPG ボンベの重量を示す。

LPG ボンベタイプ	袋編 Y 被覆	袋編 X 被覆	袋編み無し
重量 [g]	4,200	4,250	3,900

表 2.16

・オールプラスチックLPGボンベの外観・仕様

図 2.17 に本研究で製作したオールプラスチックLPGボンベの外観を示す。
仕様は8kgボンベ、容器重量6.5kg（プロテクター、バルブ含む）、容器直径310mm（プロテクター外径）、高さ570mm、内容積は20.9L



図 2.17 オールプラスチックLPGボンベの外観

①-2-2：耐内圧強度最低6.5MPa（6.5気圧）、低コストFRP製造コストの検討

・ライナー底形状の検討

図 2.18 にライナー底形状の履歴を示す。耐内圧強度確保の為設計変更を行った。
TYPE 1は初期の設計で、金具回り止めを兼ねた多角形フランジを持つ。TYPE 2は金具を削除し、コスト・重量低減を図ったタイプ。コストについては金具製作費、ゲート（軸）除去及び金具取り付け工数を低減。重量は真鍮製で約150g、アルミ製で約50gを低減出来た。しかし耐内圧強度を測定したところ破壊部が軸付近に集中した。TYPE 3はフランジをライナーに埋め込んだタイプ。TYPE 4は本研究の最終形状でTYPE 3のフランジ埋め込みを廃止したもの。

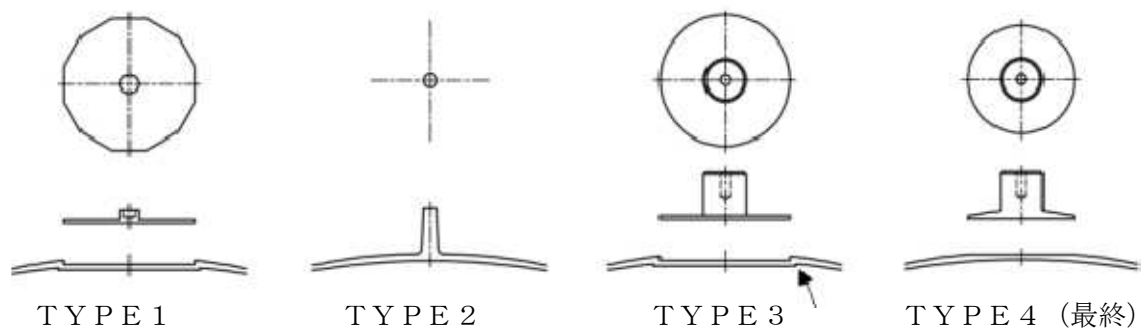


図 2.18 ライナー底形状の履歴

・コスト低減の検討

コスト低減について下記の 2 点について検討・活動を行った。

①ロービングバンド確保によるFW工数低減

FW工程において、ロービングバンド幅の拡大により巻き数が低減、工数で約 20% のコスト低減効果を得た。

②FRP部樹脂変更による材料コスト低減

材料メーカーとFRP層を形成する硬化性樹脂の配合を検討。材料の透明性向上と約 60% のコスト低減効果を得た。

第3章 良光透過 FRP 成形技術の確立

3-1 研究目的及び目標(担当：北陸エステアール協同組合)

本項の目的は第1層のプラスチックライナーに第2層のガラス繊維袋状編物とFWを施した状態で、壁面から残存LPガスが目視可能なFRP製LPGボンベを製造することである。その為に第1層のプラスチックライナー樹脂の選定、第2層用含浸樹脂の選定を検討する。

3-2 実験方法(担当：北陸エステアール協同組合)

耐熱性樹脂を使用したプラスチックライナーに対して樹脂を含浸させたガラス繊維を本研究開発事業で製作したFW装置を用いてFRP化を行い、内容物の目視が可能か確認をする。

3-3 研究成果(担当：北陸エステアール協同組合)

・樹脂の変更

平成24年度はFRP層の樹脂を変更し、良光透過性の向上と樹脂コスト低減を図った。材料メーカーと配合を検討し、FWに適する常温硬化タイプとした。図3.1に試作品樹脂AのFRP化後ワーク表面を示す。初期の試作品樹脂Aでは表面に無数の気泡が発生し、透明度低下と強度低下が懸念された。その後、主剤・硬化剤の比率と消泡剤の添加など樹脂配合の検討と評価の繰り返しにより量産用樹脂Bを完成した。図3.2に量産用樹脂BのFRP化後ワーク表面を示す。表面の気泡は除去され透明度確保した。



図 3.1 樹脂AのFRP化表面
表面に無数の気泡が発生している。



図 3.2 樹脂BのFRP化表面
樹脂配合検討後、気泡を除去された。

・液残量視認性の確認

図3.3に袋編みY使用、図3.4に袋編みX使用、図3.5に袋編み無しを示す。それぞれライナーに約10Lの水を入れ、液面の視認性を確認。袋編みY, X, なし共、液面を容易に確認することが出来、良光透過性を確保した。



図 3.3
袋編み Y 使用



図 3.4
袋編み X 使用

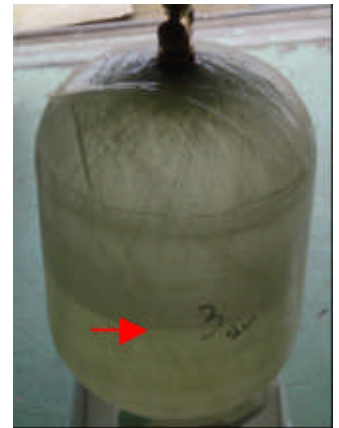


図 3.5
袋編み無し

第4章 試作品のFRP製LPGボンベの各種評価

4-1 研究目的及び目標(担当：北陸エステアール協同組合)

平成22年度にはFRP製LPGボンベ全体を評価する前に接合型ライナーで作製するインサート部の樹脂と金具部間のガス漏洩試験やライナー樹脂の物性試験を行った。平成23年度は一体型ライナーと接合型ライナーに①-1袋状編物及び①-2FW装置を用いてFRPを被覆した試作品にプロテクターを装着して各種評価を行った。(ただし落下試験、火炎曝露試験以外の評価はプロテクター装着せずに行った。)

評価基準は、高圧ガス保安協会が定めるアルミニウム合金ライナー・炭素繊維製一般複合容器の技術基準及び圧縮天然ガス自動車燃料装置容器の技術基準とする。評価方法としては、北陸エステアール協同組合内の火炎曝露試験装置を使用し、火炎曝露特性を評価する。また、耐圧試験、落下後の残存強度確認試験、加圧時の歪の計測については北陸エステアール協同組合内に設置した内圧強度試験装置を利用し実施する。

上記の試験結果に基づき、ライナー接合、金具部、袋編み特性、FW法及びプロテクター等について評価を行い、ボンベ設計に反映させる。

尚、ガス漏洩試験や耐候性試験はボンベの仕様が決まり次第実施していく。

4-2 実験方法(担当：北陸エステアール協同組合)

(1) 耐圧試験・歪の計測

エアーコンプレッサーによって作られた圧縮空気を増圧ポンプに送りプラスチックライナー内を加圧する。加圧状況をフィードバックしモニタリングを行う。耐圧試験の簡易図を図4.1に示す。具体的な目標として最低耐圧強度65気圧以上を目指す。

耐圧試験と並行して歪ゲージをライナーに取り付け歪の測定を行った。歪を測定することにより大きく変異する箇所を確認する。

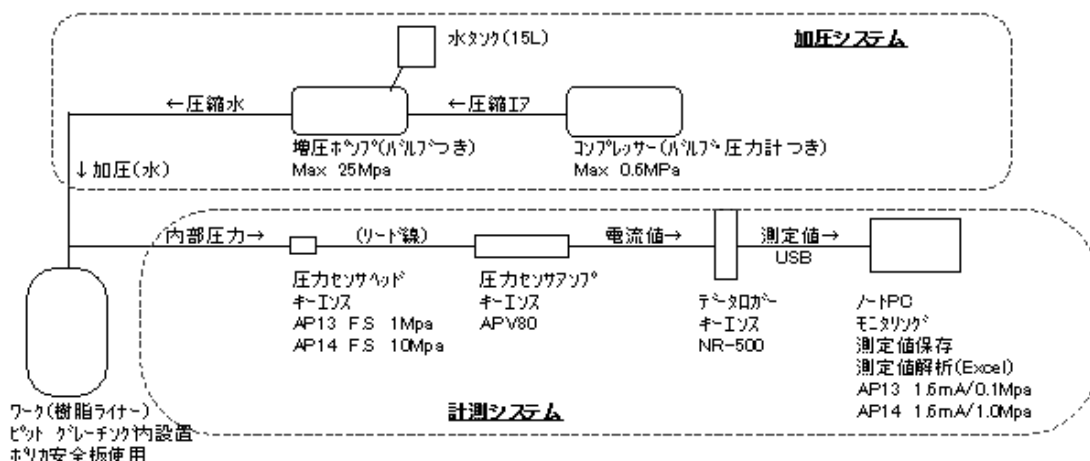


図 4.1 耐圧試験簡易図

(2) 落下試験

ライナーにプロテクターと容器バルブを装着。ライナーに水を満タンにし図 4.2 に示す5つの方向で高さ1.5mから平滑、水平なコンクリート又はこれらと同等以上の堅固な水平面に落下。ライナー及びプロテクターへのダメージを確認する。1.5mという高さはLPGボンベ配送時のトラック荷台の高さを参考としている。図 4.3 に試験の様子を示す。

実験の手順は①ワーク落下角度を決めロープで固定、クレーンで高さ1.5mまで吊り上げ②実験作業者は落下点から離れ安全確認、③合図後、ワークを落下させ状態を観察の順に各方向行う。

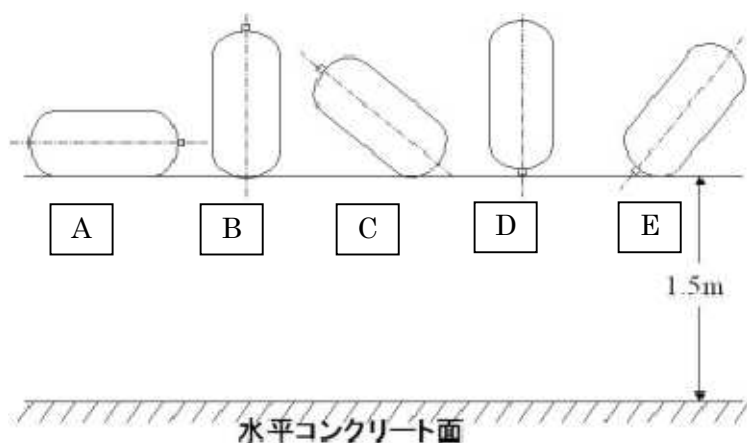


図 4.2 試験の落下方向



① 角度を固定し、1.5mのゲージで高さを確認



② 作業者は落下点から離れ、安全を確認



③ 合図後、落下させワークの状態を観察

図 4.3 試験の様子

(3) 簡易火炎曝露試験

・試験方法・条件

現状、LPG 充填許可を得ていないためアルコールを用いた簡易的な火炎曝露試験を行い、ガラス繊維袋状編物有無による火炎曝露耐性の違いを観察した。図 4. 4 に火炎曝露試験簡易図を示す。

図 4. 5 に簡易火炎曝露試験写真を示す。

防火フレーム内に外側容器、その中の灯油容器に灯油を 6 L 入れ、その上に金網を設置。LPG ボンベに燃焼用アルコールを 3 L 注入後、安全弁を上に向け金網に針金で固定。灯油に着火後、ガス放出状態観察。観察終了後、消火器にて消火する。安全確保の為、安全カバー設置、保護具着用（ヘルメット・防毒マスク）、予備消火器を準備。

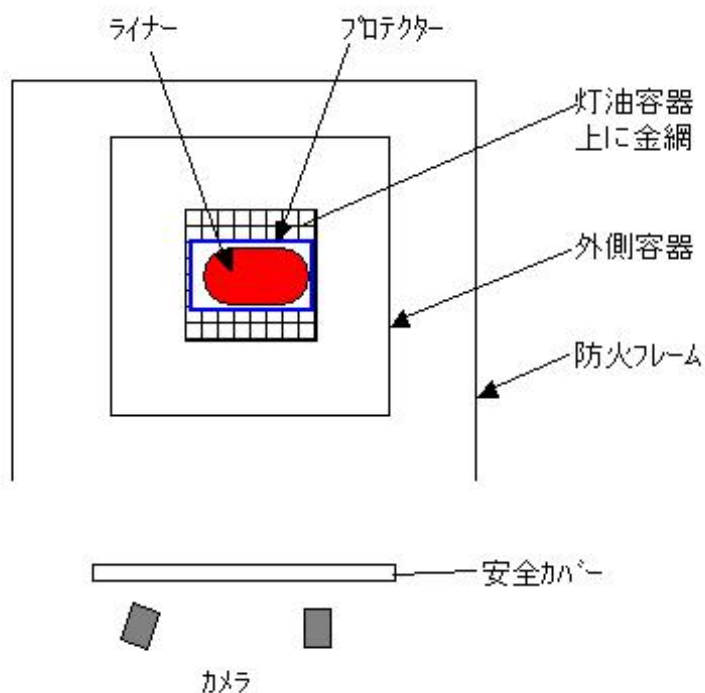


図 4.4 火炎曝露試験簡易図



図 4.5 火炎曝露試験の様子

4-3 研究成果(担当：北陸エステアール協同組合)

・耐圧試験・歪の計測

第5章で作製した接合型ライナーにFRP化を施し耐内圧試験と歪を計測した。

図4.6に歪計測箇所を示す。ST1とST2はライナーのドーム形状部分で、FWのヘリカル巻き(斜め方向巻き)で覆われた部分を測定。ST3とST4はライナーの胴部分で、ヘリカル巻き+フープ巻き(周方向巻き)部分を測定する。

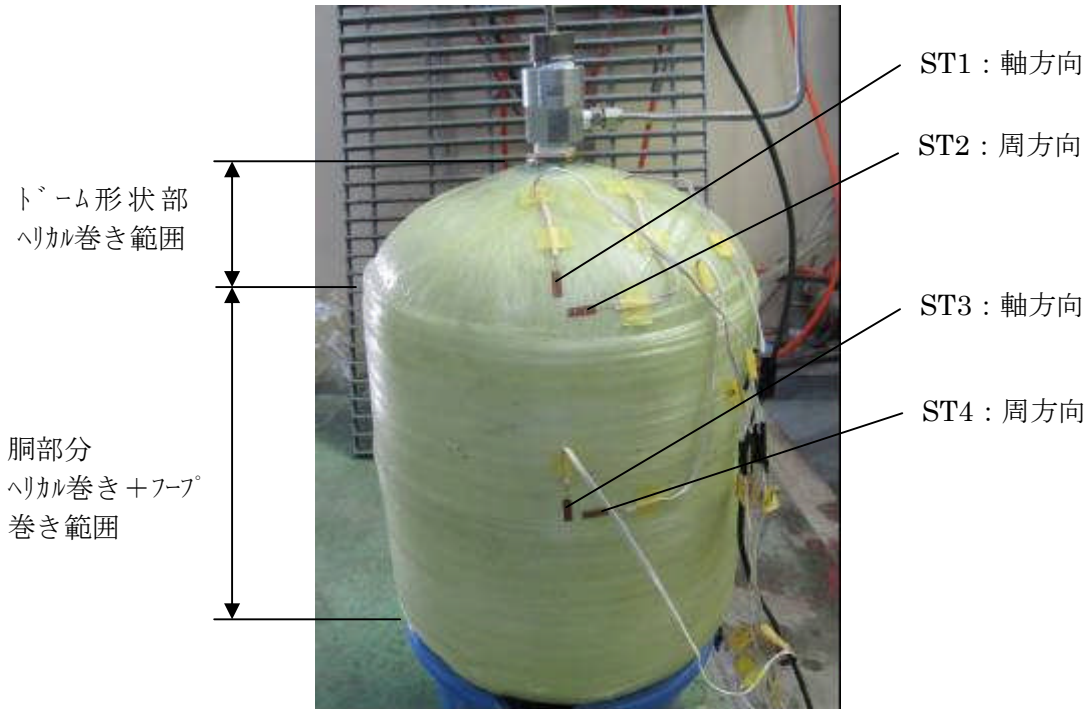


図 4.6 計測箇所概要

表4.7に本研究の最終形状のライナーでの耐内圧試験結果を示す。n10個の試験結果で目標6.5MPaに対し8個がクリアした。袋編みX(テストNo.1036)、袋編みY(テストNo.1037)を装着したワークも強度的に遜色無い。試験中、歪ゲージでのワーク伸び測定ではST1(ドーム形状部軸方向)が大きい。ドーム形状部はFRP層がヘリカル巻き1重になっている為で想定内である。ついでST4(胴部周方向)が大きい。

テストNo.	底形状	袋編み	化学処理	耐内圧強度	歪ゲージ値			
					ST1	ST2	ST3	ST4
1028	type4	無	有	4.32	8091	3654	3091	5900
1029	type4	無	有	7.34	7774	2016	3900	7022
1030	type4	無	有	8.12	10721	-	2994	8118
1031	type4	無	有	7.61	5957	2291	3066	6800
1032	type4	無	有	7.21	7622	-	3009	5321
1033	type4	無	有	8.09	13088	2947	4727	6090
1034	type4	無	有	5.50	6888	1050	2651	5544
1035	type4	無	有	7.64	9202	3500	4192	6445
1036	type4	X	有	8.76	10020	1991	2700	-
1037	type4	Y	有	7.24	8099	-	3141	7881

表 4.7 耐内圧試験結果

・底（金具）形状変更履歴と耐内圧強度

表 4. 8 に底金具の変更履歴とそれに対する耐内圧強度を示す。初期の底形状 TYPE1 から強度向上・コスト・重量低減でTYPE 2に変更、強度向上が図れた。しかし良品発現率をさらに向上させるためTYPE 3, 4と設計変更、最終的にTYPE 4とした。

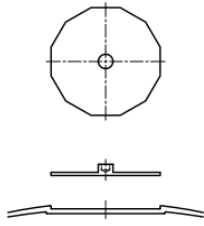
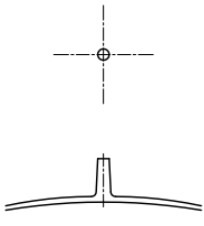
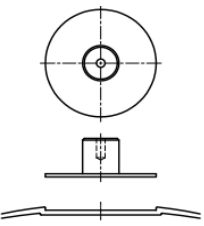
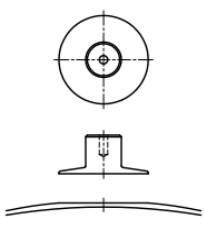
	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4
底形状				
耐圧強度	3.4~6.1MPa	3.9~9.5MPa	1.6~6.6MPa	4.5~8.7MPa
良品発現率	10%	60%	10%	80%

表 4.8 底形状変更履歴と耐内圧強度

(1) 落下試験

・プロテクターの製作

平成 24 年度は、量産に近い形、意匠のプロテクターを設計製作を行った。図 4. 9 は完成したプロテクター外観を示す。左はプロテクター下部。右はプロテクター上部。上部は取っ手握りの部分の蓋とケースの 2 ピースで構成。材質は PP 相当強度を持つウレタン樹脂。実際の形状のマスターワークを反転したシリコンゴム型を用い、ウレタン樹脂を注型。真空引きで気泡除去後、恒温層で硬化、脱型する。



図 4.9 プロテクター外観

・試験結果

ライナーにプロテクターを装着し、ライナーに水道水20Lを入れ落下試験を行った。表4.12に各方向での落下試験の結果、図4.13～図4.15に落下後のワークの外観を示す。プロテクターはウレタン樹脂注型でPP相当強度のためある程度の破損は想定内。ただしプロテクター上下の外れは想定外であった。この結果をもとに、最終金型でのプロテクター設計方針を決定。主な内容は破損対応としてコーナー部R寸法増と肉厚増、プロテクター同士を強固に固定する嵌め合い構造の設定など。また材質についてはHDPE射出成形で目処が立っている。

方向	ワークの状態
A	バウンド後プロテクター上部脱落
B	プロテクター上部脱落
C	インパクト部一部破損
D	プロテクター上部破損、脱落
E	プロテクター上部破損、脱落

表 4.10 方向と落下後ワークの状態

上部破損



図 4.11 プロテクター上部破損

インパクト部破損

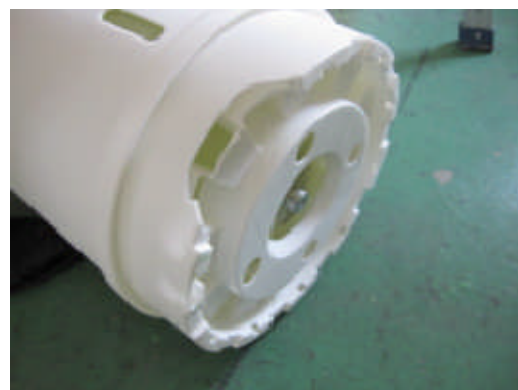


図 4.12 プロテクター下部破損



図 4.13 上下プロテクター接合部脱落

(2) 簡易火炎曝露試験

図 4.14 に袋編み Y、図 4.15 に袋編み X、図 4.16 に袋編み無しの簡易火炎曝露試験の様子を示す。ボンベ表面に無数にノズル状にガスを放出していることが確認出来る。

袋編みありの方が無しと比べ炎が小さく、約 3 分長くガスを放出した。これにより袋編みの効果が確認した。

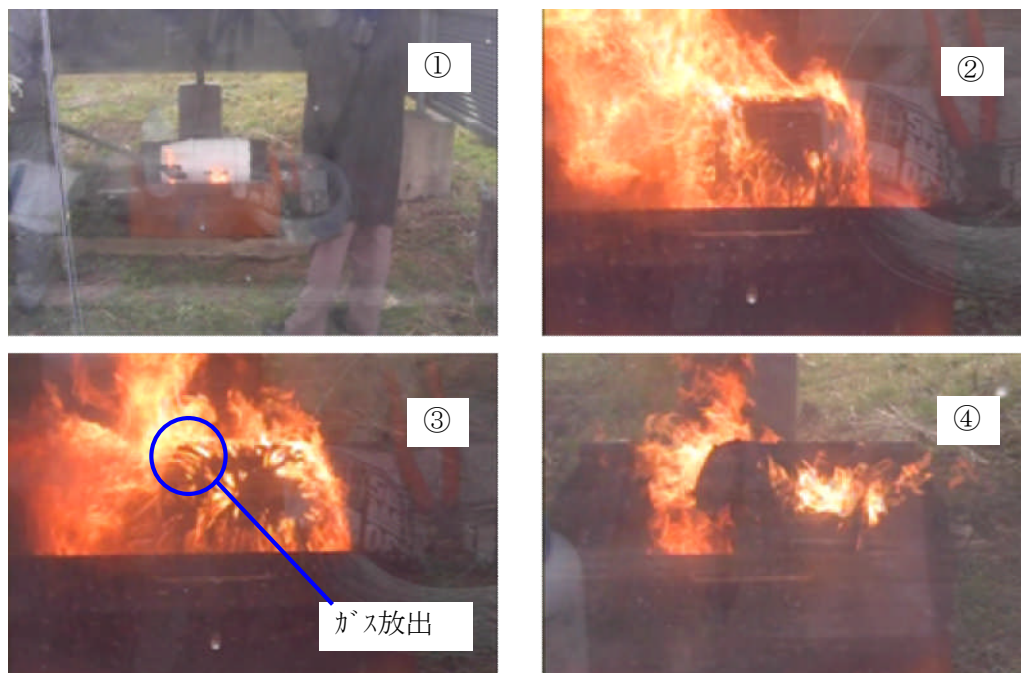


図 4.14 袋 Y 試験の様子 点火からガス放出終了までの時間 12 分 30 秒

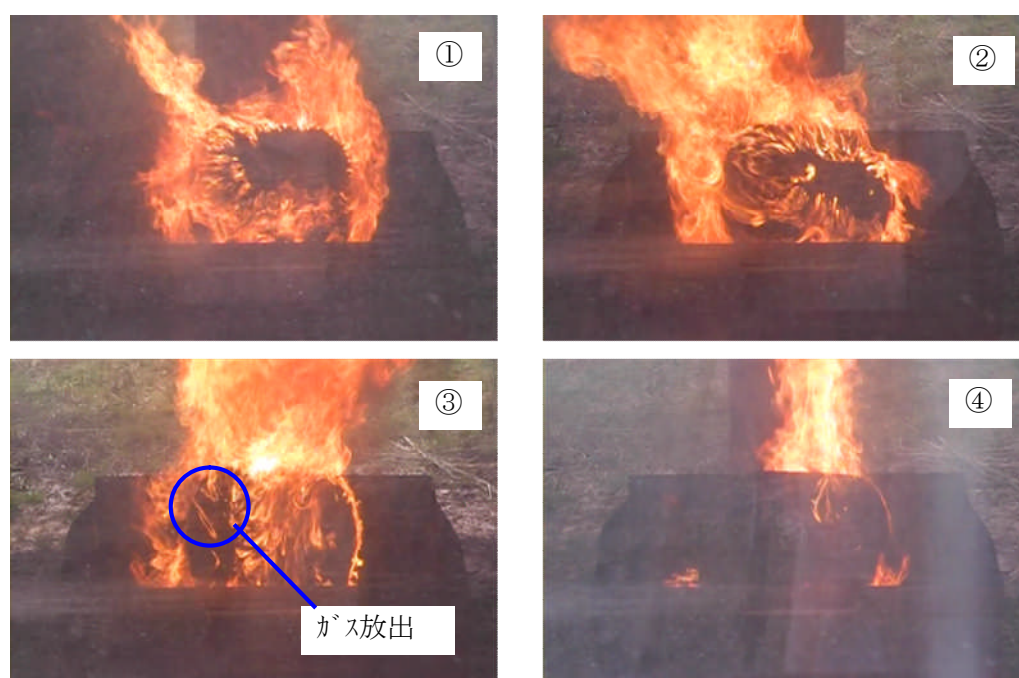


図 4.15 袋 X 試験の様子 点火からガス放出終了までの時間 12 分

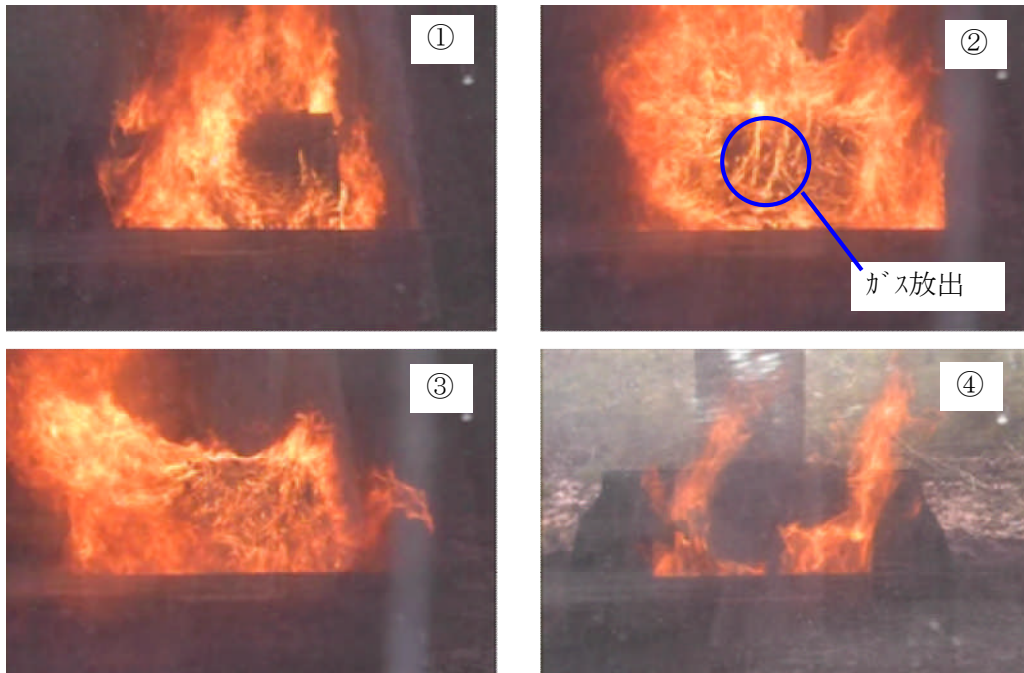


図 4.16 袋なし試験の様子 点火からガス放出終了までの時間 9 分

胴部分からの袋 Y、X ありと同様にガス放出が確認出来るが、袋編みのあるものより炎が大きい。袋編みにより炎の成長が抑制されていることが確認。

第5章 耐熱性樹脂を用いた8kg以上ライナーの成形技術の確立及びFRP製LPGボンベの実用化

5-1 研究目的及び目標

④-1：FRP製LPGボンベの設計・試作

本項目では、開発品であるFRP製LPGボンベの第1層（プラスチックライナー）の溶着部分について、以下のとおり研究開発を行った。

④-1-1：接合型ライナーの溶着方法の検討

(1) 成形条件の確認

接合型ライナーの溶着方法を検討するため、接合するライナーが設計した仕様どおりの性能で成形できるように、CAE解析による成形条件と、金型での成形条件を検証してきた。今年度さらに連続的に安定した成形品を得るために、成形機の成形条件と金型での冷却条件及び、製品取り出しのタイミングの検証を行い、安定して成形できるライナーの成形条件を検討した。

(2) 樹脂と金属の接合方法

本研究開発事業において、ライナー（樹脂）と口金（金属）を接合して、バルブを装着して密閉容器とするために、樹脂と金属の接合については、機械的な構造でガス漏れを防止する設計で検討していた。窒素ガスによる機密試験において、仕様で決めた範囲内であったが、接合部からガスの透過が確認されたため、より信頼性の高い方法を用いてライナーと口金を接合する技術を確立する必要があり接合方法の検討を行った。

(3) ライナーの強度

ライナー上部と下部を溶着したライナーの耐圧試験において、口金付近からの破壊が起こる傾向が見られたためCAEによる強度解析を実施した。

(4) 熱板溶着機

ライナー上部と下部の溶着では、熱板を用いた方法で溶着することとし、平成23年度に検討した熱板溶着試験で得られた溶着条件を実現できる機械の仕様により、溶着治具が取付け可能な熱板溶着機を設計・製作して、溶着条件について研究開発を行った。

(5) ライナーの溶着

ライナー上部と下部の熱板溶着において、再現性のある溶着条件を決めるために、溶着部の強度が最大になる熱板の溶着条件と、ライナー上部と下部の接合部のスキマがばらついた時の許容範囲を確認しておく必要があり、ライナー上部と下部から切り出した切断片で、基準となる溶着条件からスキマの幅を変えて溶着を行い、引張り強度試験を行った。

(6) ボンベ溶着部の確認

ライナーの上部、下部が、熱板溶着機により設定した溶着条件で溶着されたことを確認するため熱板溶着の断面を切り出してデジタルマイクロスコープで溶着部の観察を行った。

(7) ライナーの溶着部の強度

熱板溶着機により溶着されたライナーを 12 等分に分割して引張りと曲げ試験を行った。

(8) プロテクターの設計

ガラス繊維で外側をFWして補強したライナーを、外部からの衝撃や、紫外線による劣化を防ぎ、可搬性のある耐圧容器とするためにプロテクターを装着する必要がある。

5-2 実験方法

(1) 成形条件の確認

成形条件と金型の製品取出し条件の検証と調整を行った。

(2) 樹脂と金属の接合方法

口金（化学処理）をインサート成形し、樹脂の口金部の抱えこみをカットして接合力を確認した。また、切り込みにドライバーを差込み剥離させ接着強度を評価した。

(3) ライナーの強度

製作した接合型ライナーに 20L の水を入れ、耐圧試験を行った。



図 5.1 溶着ライナーの耐圧試験

(4) 熱板溶着機

熱板溶着機は、ライナー上部と下部の接合面の樹脂の劣化を防止するとともに溶着部の強度を一般の肉厚部と同等にするため、非接触型熱板を用いて PID 温超制御 (Proportional Integral Derivative Controller) により最大 650℃まで加熱可能な仕様とした。

また、ライナー上部と下部の溶着条件の検討のために、10 個の条件を記憶しておくためのメモリー設定機能を設ける。

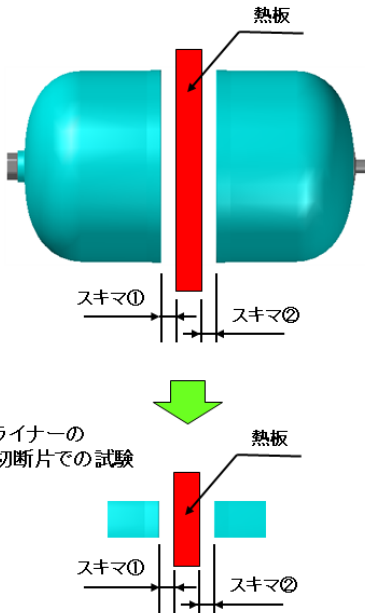
熱板溶着機の稼動時の安全確保のため、高温になった熱板のヒーター部の遮熱と、誤って熱板に触れることのないようにするために安全カバーを設けるとともに、熱板溶着の開始確認のための安全スイッチと非常停止ボタンを設置する仕様にした。

(5) ライナーの溶着

ライナーの切断片を用いて引張り強度試験を行った。その様子を図 5.2 に示す。

ポンベの溶着強度確認の実験

ライナーと熱板の距離と
接合強度の確認

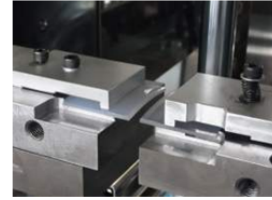


切断片と熱板の距離を変えて接合強度を確認する

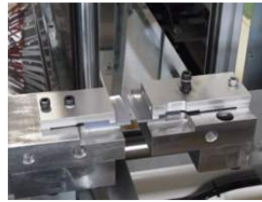
溶着治具の平行確認



試験片の位置調整



過熱直後の試験片



試験片 加圧⇒溶着

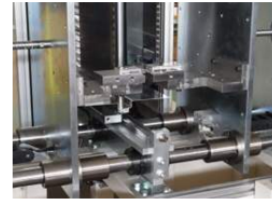


図 5.2 ポンベ溶着強度の実験

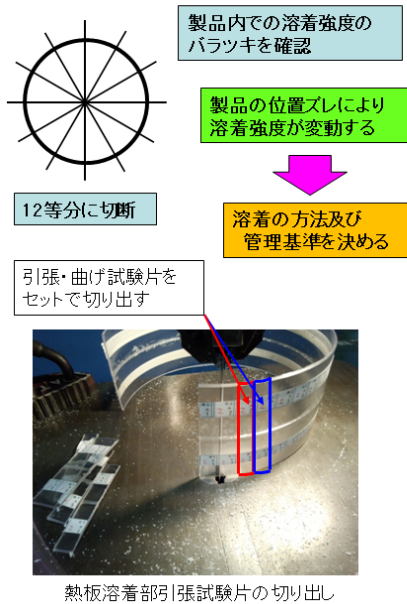
(6) ポンベの溶着部の確認

熱板溶着機の溶着条件は、樹脂を短時間で溶融するために、熱板表面温度を 600℃とし、ヒーターの設定温度を固定して加熱時間により樹脂表面の溶融状態を調整することにした。

(7) ライナーの溶着部の強度

ライナーの熱板溶着部の強度試験

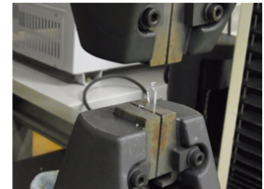
円筒の製品を熱板で溶着して接合強度の違いを確認



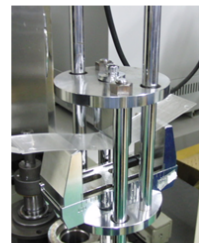
引張試験



引張・曲げ試験装置



引張試験(母材部破壊)



曲げ試験



引張試験(接合部破壊)

図 5.3 ライナー熱板溶着部の強度試験

(8) プロテクターの設計

プロテクターを設計するにあたり、設計基準が明確になっていないため、海外製のプロテクターと強度比較を行い、開発するプロテクターを設計した。

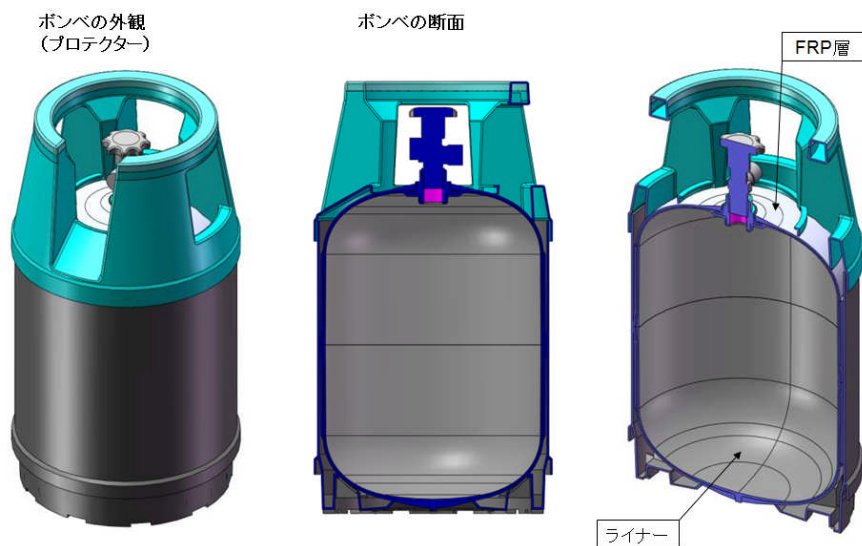


図 5.4 本研究開発事業で開発したプロテクターの形状

5-3 研究成果

(1) 成形条件の確認

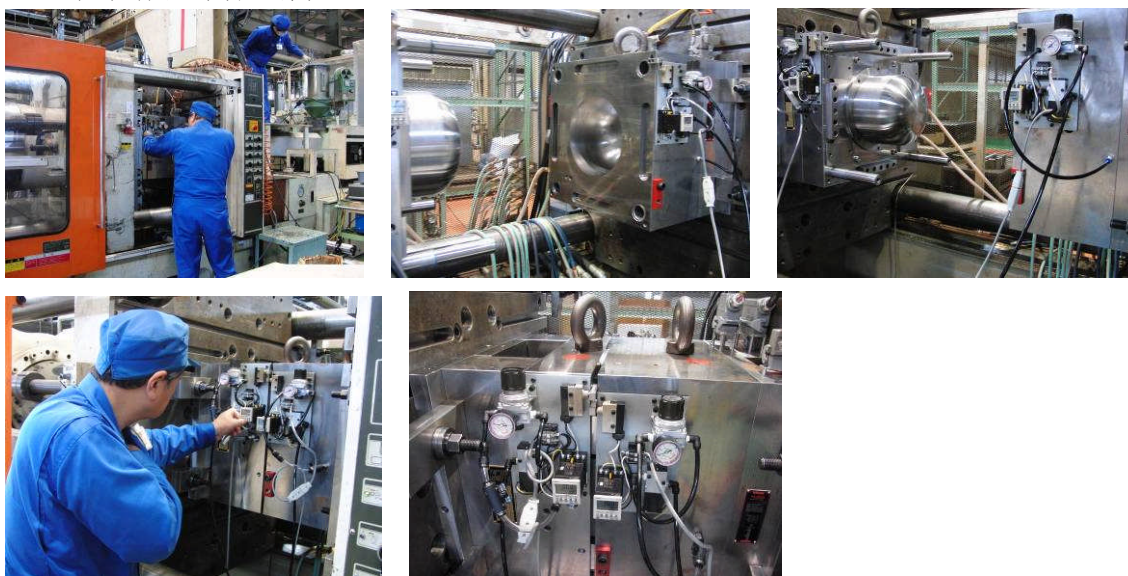


図 5.5 成形条件と金型の製品取出し条件の検証と調整

CAE 解析による成形条件どおりに成形できる金型を作成したが、樹製品を金型から取り出す際に金型に取られる不具合が発生したため、エアバルブと突き出し機構の見直しを行い、突き出しのタイミングを調整することで、安定した成形できるようになった。

(2) 樹脂と金属の接合方法
 ・黄銅とPEN樹脂の接合試験 (平成 23 年度)

<評価方法>

黄銅へ被膜形成を行い、PET及びPEN樹脂を使用して射出成形接合を突合せで行い、接合強度を確認する。

<金属>

テスト金属: 黄銅(C2801)
 寸法: (40mm × 12mm × 3mm)

<樹脂>

PET樹脂 IP-121B
 PEN樹脂 TN8050SC TN8065S TN8953

<接着図、引張り方向>

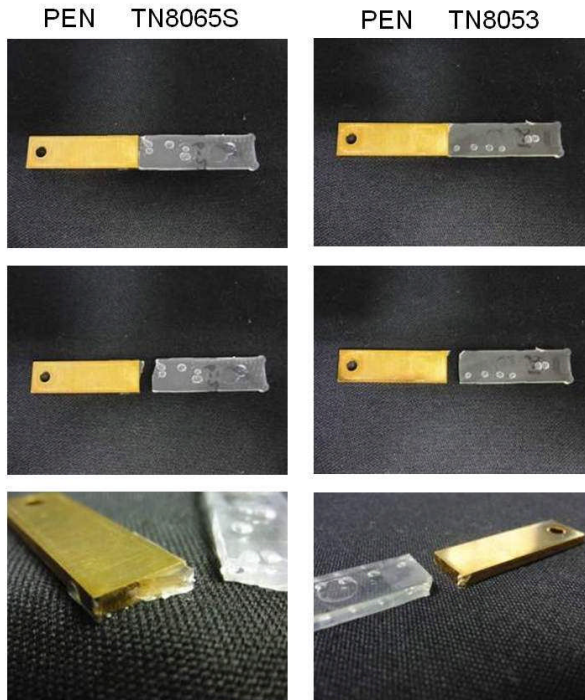
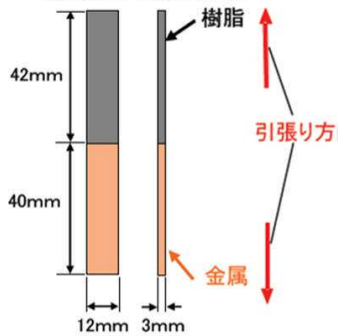
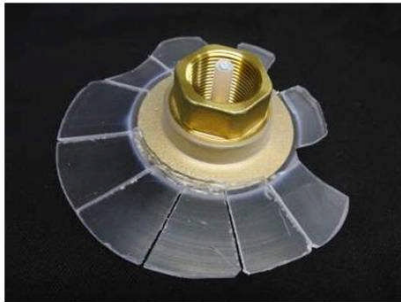


図 5.6 黄銅とPEN樹脂の接合試験

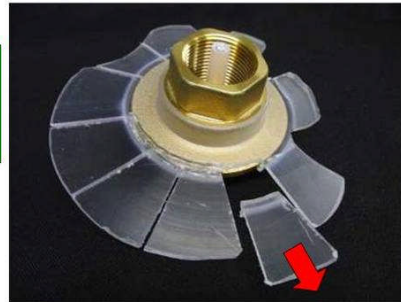
・口金とPEN樹脂の接合試験 (平成 23 年度)

口金(未処理)とPEN樹脂の接合力の確認

口金をインサート成形

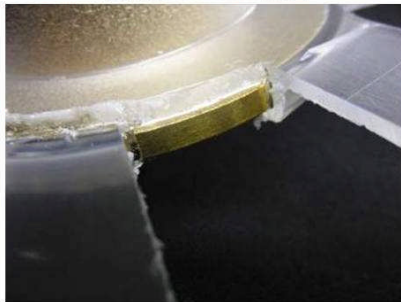


口金と樹脂の接合部の接合力の確認

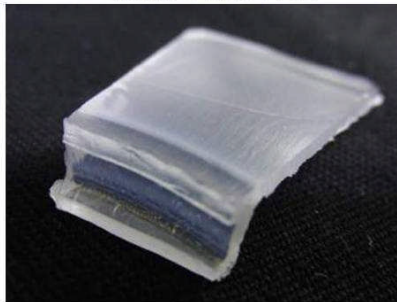


樹脂の口金部の抱えこみをカットして接合力を確認する。

接合部の口金の表面



接合部の樹脂の表面



樹脂と口金表面の接合力はほとんど認められない。

↓
 樹脂のはさみ込みだけで口金を保持している。

図 5.7 口金 (未処理) とPEN樹脂の接合力試験

口金(化学処理)とPEN樹脂の接合力の確認

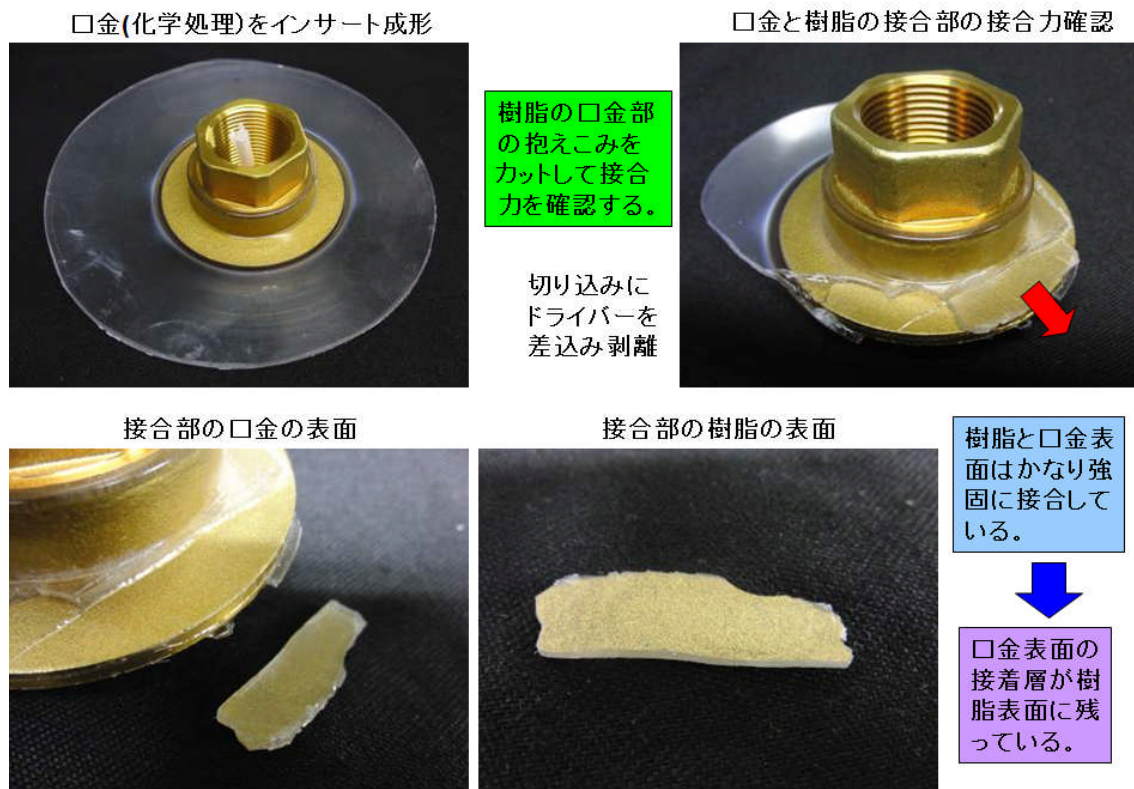


図 5.8 口金（化学処理）と PEN 樹脂の接合力試験

ライナー（樹脂）と口金（金属）の接合において、平成 23 年度の研究開発では、口金の化学処理の有効性を確認するために、口金を機械加工した状態のものと、化学処理を行ったもので、インサート成形を行ったが、金属表面が機械加工だけの状態では、樹脂と金属の接合力は認められなかった。

樹脂と金属の接合試験に於いて、テストピースの場合は、成形後には強固な接合になっている。

一方、ライナーに装着する口金は、テストピースに比べて大きく、樹脂と金属の接合条件が変わったために接合強度が出なかったと考えられる。

本研究開発事業において、ライナー（樹脂）と口金（金属）を接合して、バルブを装着して密閉容器とするときに、口金の接合部からのガス漏れを懸念していたが、金属表面に化学処理を行うことでライナー（樹脂）と口金（金属）が一体の接合状態になっていることで、ガス漏れの効果があることを確認した。

(3) ライナーの強度

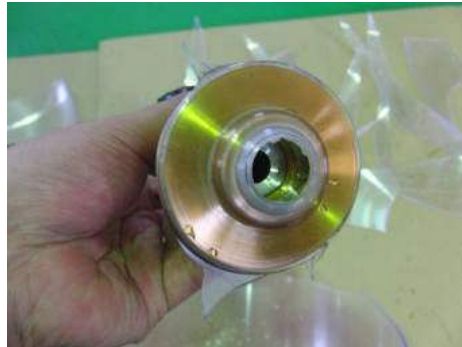


図 5.9 口金のエッジ付近より破壊

CAE による強度解析の結果、ライナー内側の口金のエッジ付近に応力が集中する結果が得られた。

ライナーの強度解析

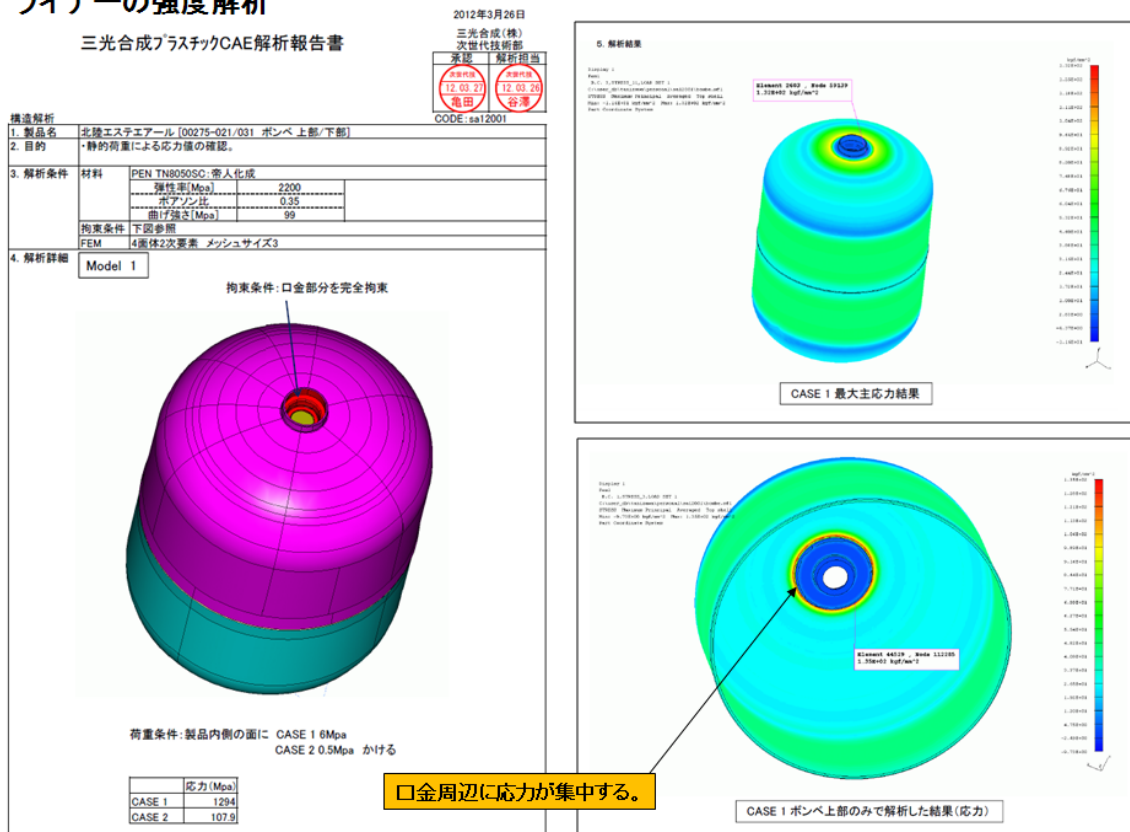
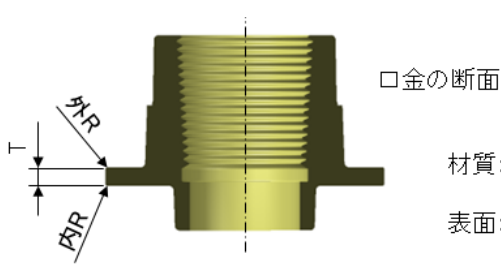


図 5.10 ライナーの強度解析結果

一方、ライナー外側での応力集中は認められなかったため、ライナー口金を保持している形状に問題があると考えられる。

口金のコーナー形状を変更し、樹脂の段差を R 形状に緩やかにすることで口金のエッジ付近に応力集中が起こるのが回避できるのではないかと考え、口金のエッジの加工パターンを変えて、ライナーにガラス繊維を FW した状態での CAE による応力解析をおこなった。



材質: 黄銅
C3771
表面: TRI処理

口金の加工パターン (mm)

番号	コーナーR	
	内R	外R
①	3	1
②	2	1
③	2	2
④	2	1
⑤	1.5	1.5
⑥	C2	—

左記、口金形状の寸法違いの差とともに、口金表面のTRI処理の有無による強度の違いを確認する。

図 5.11 口金加工パターン

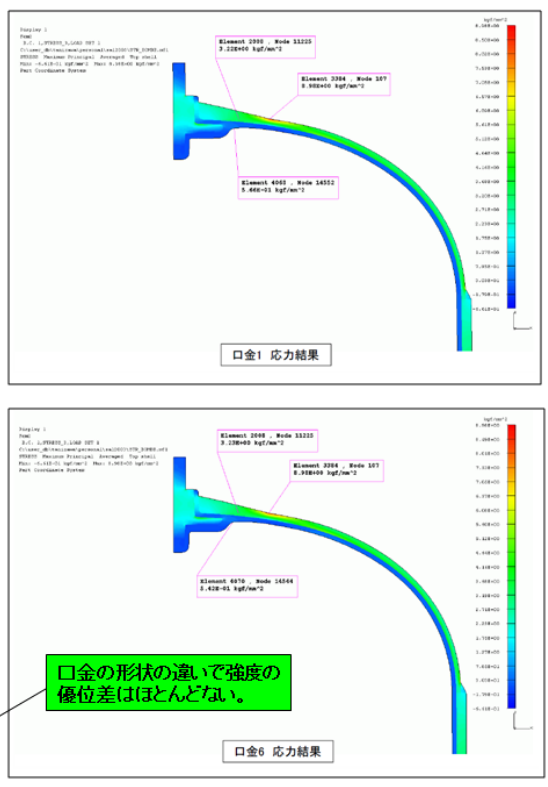
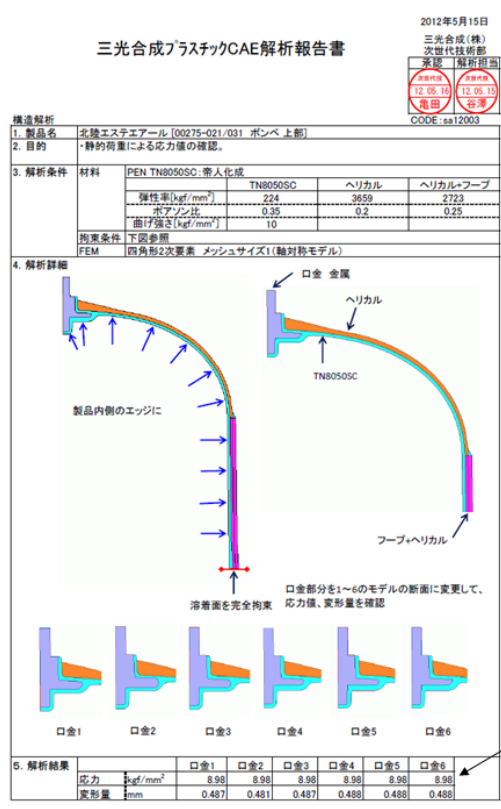


図 5.12 口金加工パターン別 応力解析

ライナー単体の CAE による応力解析の結果では、応力が集中する箇所があったが、口金の加工パターンを変えた形状で、ガラス繊維でFWにより補強したライナーの CAE による応力解析では、強度の差異は認められなかった。

また、ライナー内部の応力集中が予測された箇所の強度も一般の部分と大きな違いがなかった。

この結果より、ライナーの補強のためにFWされたガラス繊維がライナーに掛る内圧の応力を受け止めて分散すると考えられるため、ライナー単体で部分的に応力が集中する部分があっても、ボンベの強度に大きく影響を与えることがないと思われる。

ライナー上部と下部を溶着したライナーの耐圧試験において、口金部からの破壊が発生したため、CAE による強度解析の結果応力集中が起こる箇所があることがわかった。CAE 解析では口金の形状が、強度に影響しないという結果であったが、破壊の原因が口金の形状に起因すると考えられたため口金の形状を変えるとともに、ライナーの形状も見直して応力が集中する箇所の形状を修正した。

それにより口金部の応力集中がなくなり、耐圧試験で、口金部からの破壊が無くなった。

(4) 熱板溶着機

熱板溶着機の動作確認



溶着条件設定画面



ライナーの溶着確認



図 5.13 熱板溶着機の動作確認

ライナー上部と下部の溶着で熱板を用いて溶着することにして、これまで試験片や、溶着機メーカーのテスト機での溶着で、量産時の課題を確認してきたが、熱板溶着機の仕様が異なるため十分なテストが行えなかった。

ライナーの上部、下部を溶着するための熱板溶着を導入することで、信頼性のある接合条件を確立するための溶着条件について検討できるようになった。

溶着条件については、メモリー機能により条件の再現と微調整が容易になった。

(5) ライナーの溶着

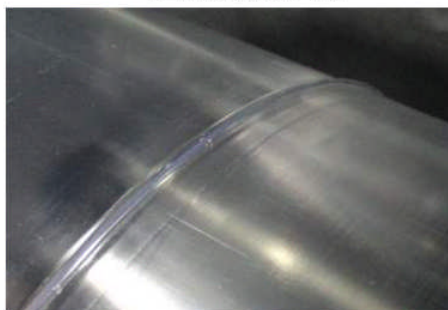
熱板溶着機により溶着されたライナーの接合部において、安定して均一な強度を保障するため、熱板の温度等の溶着の条件及び、熱板とライナーの上部、下部の位置の管理が重要であることがわかり、接合条件を検討して、接合部のスキマと治具の取付け精度の関係を調べて標準化することで安定した接合品質を維持することができるようになった。

(6) ボンベの溶着部の確認



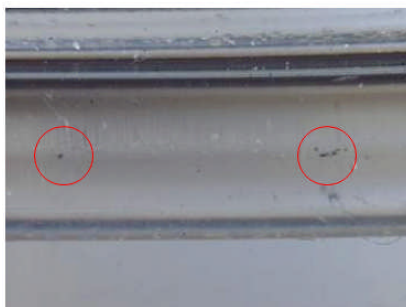
熱板溶着後の製品

溶着条件と治具の調整で
一定品質の溶着が可能



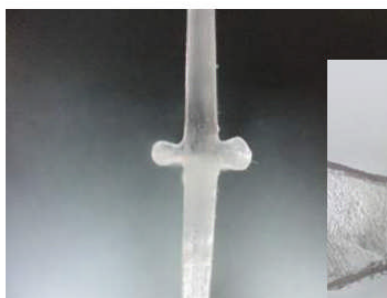
溶着断面の拡大写真において、溶着面はライナー上部と下部の製品と一体の様相を示しており、本研究開発で確立した熱板の溶着条件を適用することで、一定の溶着強度の製品の品質を維持することができることがわかった。

溶着部の気泡検査 (250倍)



気泡の発生はあるが、連続していない。

溶着部の断面検査



ライナーの上部下部が溶融して界面は識別できない。

溶着部拡大 (50倍)



図 5.14 熱板溶着部確認

ライナーの上部、下部を、熱板溶着機で溶着する条件について、その溶着断面をデジタルマイクロスコープで観察することで、最適な溶着条件と溶着品質を確認して、ボンベの圧力容器としての品質を維持する条件を見つけ出すことが出来た。

(7) ライナー溶着部の強度

強度試験の結果、曲げ強度の最小値は、母材の 80% 引張り強度の最小値は、母材の 70% で、ライナーの切断片による溶着試験の強度に達しない部分があった。

製品のソリ、変形に対しては、溶着面を機械加工することで、問題を解決することが可能であり、それ以外についても、製品を固定する際の取付け方法と、確認方法を見直すことで、溶着強度のバラツキのない溶着が可能になるため、熱板溶着に対する課題は解決できる。

ライナーの上部と下部の射出成型による成形された製品と、成形熱板溶着機により溶着されたライナーの接合強度について、引張り・曲げ試験装置を用いて試験を行い、母材との強度の比較を行った。

引張り・曲げ試験において、母材強度を下回る箇所があつたが、製品固定の溶着治具の精度の調整及び、製品の溶着面の追加工等で解決できる内容であり接合型のLPGボンベのライナーの開発で大きな問題になることはない。

ライナーの接合部の強度のばらつきを極力小さくするべきだが、強度の低下が20～30%であれば、FW後の、接合型のLPGボンベのライナーの耐圧強度に影響はない。

(8) プロテクターの設計

プロテクターを設計において、下記のライナーの拘束箇所を決めて、5方向から100kgfの荷重条件で、CAEの強度解析を行った。

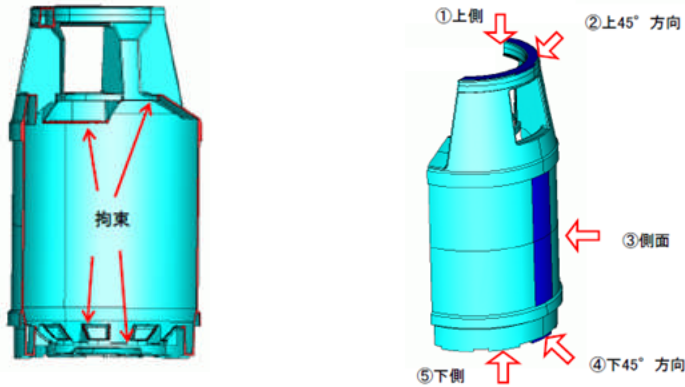


図 5.15 荷重条件

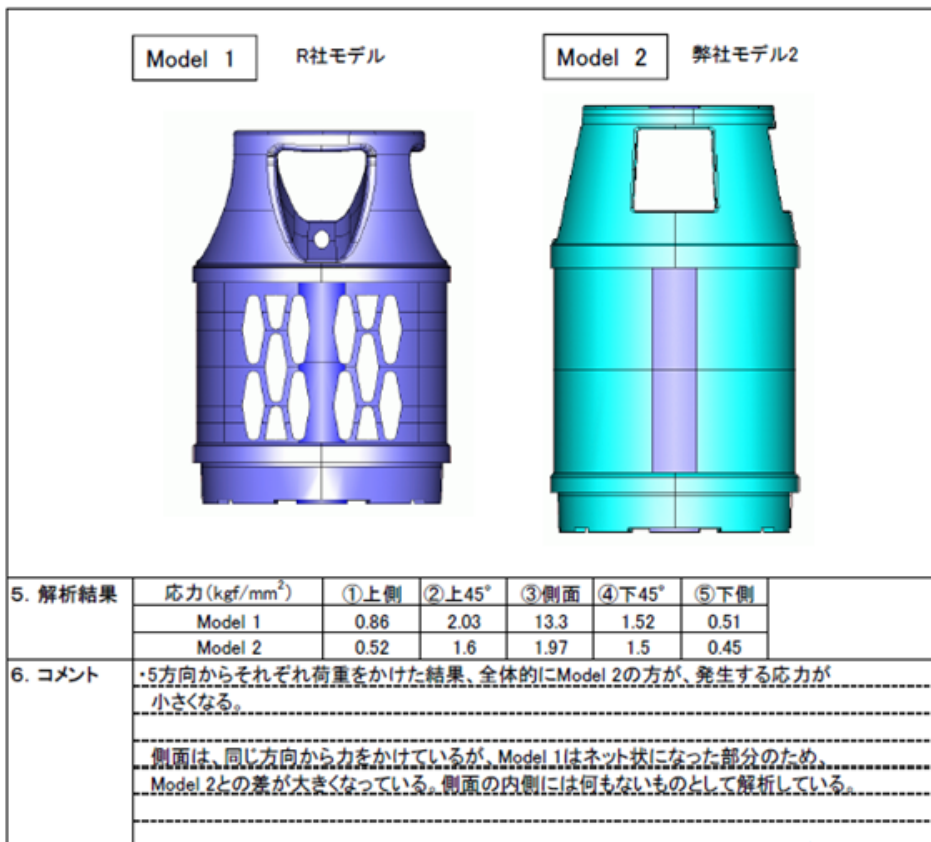


図 5.16 応力解析の結果

側面については、液残量が見えるようにするためスリットを設ける必要があるが、デザインによって形状が変わるためスリットのない状態で強度解析を行ったため 100kgf の荷重をかけたときに発生する応力は小さくなっている。

ガラス繊維で外側をFWで補強したライナーを、保護するため、CAE 解析をもとに、デザイン要素を加えて市場で流通できるプロテクターの設計を行い、量産に近い物性の材料で試作品を製作して落下試験を行った。

試作品のため落下試験において、プロテクターの破損があったが、CAE 解析のとおり、ライナーを保護する効果が認められた。

量産化に向けて、ライナーの保護強度をさらに高めるとともに、デザイン性を高めたプロテクターに改良において性能上、維持しなければならない設計箇所が明確になった。

第6章 事業化の取組み

6-1 事業化取組み成果

日本 LP ガス協会や ENEOS へ試作品説明を行い、試作品の軽量性について好評価であった。

中国工業と GSI クレオスが昨年から Ragasco 製ポンペを用いたフィールドテストを実施している。本年度の 6 月には終了する予定で、早ければ技術基準案もそのタイミングで出来る。基準が出来次第、その基準に則って認定に必要なデータ取得を開始する。

事業化に向けて特許を出願した。(特願 2012-196709：耐圧容器及び耐圧容器の製造方法)

現在のプラスチックライナーに使用している樹脂に伸びが少ないことが原因で品質が安定していない。耐熱性を少し減らし伸びのある樹脂で成形することで解消すると思われる。現在の射出成形で上部と下部を別々に成形し溶着する方法は、ポンペ胴部の直径を変化させずにポンペの大型化に対応できるので設備投資、技術開発を必要とせず、市場の変化に速やかに対応できる長所を有する。ポンペ胴部直径が一定で胴部を長くする事で容易に内容量を変化させる事が可能であるが、その際にポンペ各部に発生する応力が変化しないのがその理由である。

事業化スケジュールについては下記、表 6.1 のように計画した。

表 6.1 事業化スケジュール

助成期間終了後 実用化開発項目	平成 26年 度	平成 27年 度	平成 28年 度	平成 29年 度	平成 30年 度	平成 31年 度	平成 32年 度	平成 33年 度	平成 34年 度	平成 35年 度	予想される 重大な障害	
①試作品評価	→										①要求特性を満足できない(評価期間の再延長)	
②製品設計	→										②新たな顧客要求の追加(仕様の再検討)	
③設備投資		◇継続/中断を判断									③市況悪化による部材の高騰	
④型式認定	→										④型式認定取得の遅れ	
⑤生産			→									④歩留り悪化による生産コストの高騰
⑥販売			◇販売開始									⑤販売先での製品仕様変更に伴う販売量の減少
売上高 (百万円)	0	0	100	200	350	500	600	700	800	900		
収益 (百万円)	0	-4	-12	-8	7	35	68	108	154	205		
直接新規雇用者数(人)	0	2	10	20	35	50	60	70	80	90		
間接雇用数を含む新規創出雇用者数(人)	0	3	17	33	58	83	100	117	133	150		

- ・ 表 6.1 の事業化スケジュールは下記の条件で作成した販売計画のもとに作成した。
- ・ 直接新規雇用数の売上額は 10 百万円/人とした。
- ・ 間接雇用数を含む新規雇用数の売上額は 6 百万円/人とした。
- ・ 設備投資はポンペを一度に 4 個生産できるフィラメントワインディング装置が主となる。生産量の拡大とともに付帯装置を追加する。
- ・ 樹脂成形装置は射出成形メーカーに委託生産を依頼する。

- ・ 金属加工は外注工場に委託する。
- ・ 付帯設備としてコンベアや検査室など。

詳細なレイアウトは本年度中に行う。

設備費を除くボンベ製造コストの詳細積算

- ・ 成形用金型は 10 万個を成形可能として計算し、樹脂成形コストは類似品の成形コストを参考にした。
- ・ 射出成形コスト、樹脂溶着コストは三光合成株式会社のコストから試算した。

この計画から本事業終了後 8 年目で投資が回収でき、直接雇用が 130 人となる。

第7章 全体総括

7-1 成果の総括

① プリフォーム編み（袋状編物）技術及びFW装置を用いたFRP製LPGボンベの試作

平成22年度に製作した、火炎曝露時の外壁温度上昇に伴い金属部が急激な温度上昇により周りの樹脂が溶解する事を防止するために、金具部とガラス繊維袋状編物を強固な固定を可能としたFW法を実現出来るFW装置を用いて、④で設計した8kgプラスチックライナーにFW法によるFRP化を行った。ガラス繊維袋状編物を被覆した状態でもFW法によるFRP化の手法を見出した。

24年度は製作したガラス繊維袋状編物を被覆したFRP製LPGボンベを簡易火炎曝露試験で評価した。火炎曝露時に多数の小孔からガスが細い火炎と成って放出され、初期の目的を達成する火炎曝露耐性が得られた。FW装置に関しては、改良を加え繊維のバンド幅を一定にし、張力均一化を図った。その後にガラス繊維袋状編物を被覆した状態でのFWを行い、耐内圧性能を最低65気圧以上を達成した。

② 良光透過FRP成型技術の確立

FRP製LPGボンベ壁からの内容物を目視可能か確認する為に、④で製作した射出成形を用いた上部ライナー、下部ライナーを熱板溶着で接合したプラスチックライナーに硬化性樹脂を用い、①のFW装置によりFRP化を行った。水を用いて内容物の目視が可能か確認をした結果、ガラス繊維袋状編物の有無に関らず水面が確認できる程、透過性を有した。今後は、更に安価で透明性のある樹脂を用いコスト削減を検討する。

③ 試作品のFRP製LPGボンベの各種評価

耐圧試験、火炎曝露試験、落下試験等の各種評価の為に、④で製作した射出成形機を用いた上部ライナー、下部ライナーを熱板溶着で接合したプラスチックライナーに硬化性樹脂を用いてFW装置によりFRP化を行った。安全に火炎曝露試験を行う為に樹脂溶接法プラスチックライナーの補強方法を見出し、耐圧試験の結果が安全性確保の基準としている目標値の65気圧に達したが、品質が不安定であったので高压ガス保安協会が定める「アルミニウム合金ライナー・炭素繊維製一般複合容器の技術基準」及び「圧縮天然ガス自動車燃料装置容器の技術基準」に沿った火炎曝露試験の実施は見送った。しかし簡易的にアルコールを用いた火炎曝露試験を行い、ガラス繊維袋状編物を用いた場合に火炎がボンベ側面からノズル状に噴出している事を確認し火炎曝露耐性が向上したことを確認した。

ガス透過性に関しては、口金部の漏れなしを確認し、樹脂のガスシールド特性よりボンベからのガス漏れは、目標の半分を遥かに下まわると判断した。

落下試験を行い、容器に致命的な破損が発生しない事を確認した。しかし、プロテクターは樹脂型にウレタン樹脂を注型し製作したものであり予想どおり衝撃破損した。プロテクターの応力解析結果と衝撃破損解析より、金属型で耐衝撃性の高い高密度ポリエチレン（HDPE）で成型すれば、衝撃強度が得られると推定できた。

④ 耐熱性樹脂を用いた8kg以上ライナーの成形技術の確立及びFRP製LPGボンベの実用化

接合型のLPGボンベのライナーに使用する成形材料として、透明性、ガスバリア性、強度及

び、耐熱温度条件を満足できる PEN 樹脂（ポリエチレンナフタレート）を用いて、CAE 解析により射出成形が可能なことを検証し金型を製作したが、ドーム型の製品のため金型と製品の間が真空になり金型から取り出す際に離型不良や、変形が発生するため、金型の構造と成形条件を見直して、安定して成形できるようにした。

一方、FRP 製 LPG ボンベの開発において口金の接合部の気密性と、ライナーの上部、下部の接着の信頼性が重要な課題であり、口金と樹脂の接合では、口金表面にトリアジンジチオール誘導体を生成してインサート成形することで、金属と樹脂が化学的に接合されて、接合部からのガス漏れ防止に効果があることを確認していたが、その接合条件と強度との関係を検証して、量産時の接合条件を確立することができた。

また、ライナーの上部、下部の接着では、熱板による溶着技術を確立するために、熱板溶着機を導入して溶着のバラツキのない信頼性のある溶着方法を確立するため、溶着試験を繰り返して溶着する製品の精度と溶着強度の関係を調べることで安定した品質で LPG ボンベのライナーを熱板溶着ができる条件を確立することができた。

接合型の LPG ボンベの商品化のためには、意匠性と可搬性を考慮し、接合型の LPG ボンベを外部からの衝撃や紫外線等の自然環境から保護するプロテクターを装着する必要があるため、CAE 解析による強度計算をもとに機能性のあるデザインで設計を行った。

設計の妥当性については、量産時に使用する材料と同様の物性をもった樹脂で試作品を製作し、落下試験において、接合型の LPG ボンベを保護する機能があることを確認した。熱板溶着の試作において発生した樹脂の吸湿による溶着部の気泡発生を、溶着条件の最適化で解決し試作容器を製造した。

⑤ 事業化の取組み

国内の LPG 用 FRP ボンベの製造基準・安全基準が現在検討されている。年内には作成が完了する予定であり、LPG 用 FRP ボンベの基準が制定されたらその基準に則って認定に必要なデータ取得をしていく。

事業化にあたり FW 機、ライナー成形装置等の仕様、金属加工手段、コンベアや検査室などの付帯設備レイアウトの検討を行った。詳細なレイアウトについては本年度中に行う。

事業体制として、LPG 販売会社、商社、本事業に参加したメーカー等の意見を伺っており、LPG 用 FRP ボンベの認定取得開始までには具体的な会社名と参加の形態を明確にしていく。

上記各テーマの成果、今後の取組みをふまえて、日本で使用許可認定を得られる火炎曝露耐性を保持し、市場のニーズに合わせた、軽量かつ透明で液の残量が視認可能な FRP 製 LPG ボンベの量産化技術の確立と生産コストの削減を目指す。