



小型自動車の燃料タンク開発に資する 研究成果発表会（スライド事前送付）

主催：一般社団法人 GPI 標準化委員会

共催：日本繊維機械学会 コンポジットックス研究会

後援：公益財団法人 スズキ財団

日時：平成 31 年 5 月 17 日（金），13 時 30 分～17 時 00 分

場所：大阪科学技術センター 6 階 605 室（大阪市西区靱本町 1-8-4）

座長：田村 進一（大阪大学名誉教授・GPI 標準化委員会 理事長・会長）

13:30-13:45 Keynote lecture：小型自動車の燃料タンク開発に資する研究の趣旨説明
田村 進一（大阪大学名誉教授・GPI 標準化委員会 理事長・会長）

13:45-14:30 水素蓄圧複合容器の設計・評価技術の開発
倉敷 哲生（大阪大学大学院工学研究科 教授）

14:30-15:15 高圧管を用いた小型自動車用 CNG・水素タンクの開発
西野 義則（株式会社 NBL 研究所 代表取締役）

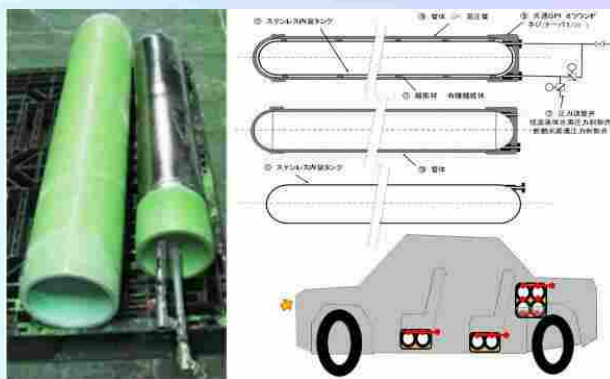
15:15-15:30 コーヒーブレイク

15:30-17:00 パネルディスカッション

※歴史的経緯を背景として、NEDO や市村清新技术財団の助成による燃料タンク開発に至るまでの発表であり、広く普及させるためにも学生さんの素朴な疑問から、高度ノウハウに至るまでの公開であり、**事前スライド送付しますので、当日または前日までに**
ご質問あれば可能な範囲で回答サービスします。

※参加費無料です。

会場設営の都合上、前日までに予約申し込んだ方のお席を優先確保いたします。余裕があれば当日ご参加も可能です。



公益財団法人 スズキ財団
SUZUKI FOUNDATION

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

日本繊維機械学会

コンポジットックス研究会



GPI Standard

Global Oil&Gas Pipe Institute

本シンポジウムに関するお問い合わせは下記まで：

一般社団法人 GPI 標準化委員会事務局 辰巳（tatsumi@nbl-technovator.jp, Tel:050-7112-6994）

小型自動車の燃料タンク開発 に資する研究成果発表会

主催: 一般社団法人 GPI標準化委員会

共催: 日本繊維機械学会 コンポジットテックス研究会

後援: 公益財団法人 スズキ財団

Keynote lecture

研究発表会の趣旨説明

田村進一

一般社団法人

GPI 標準化委員会 理事長・会長

大阪大学名誉教授

Global oil&gas Pipe Institute

GPI標準化委員会

主たる目的は

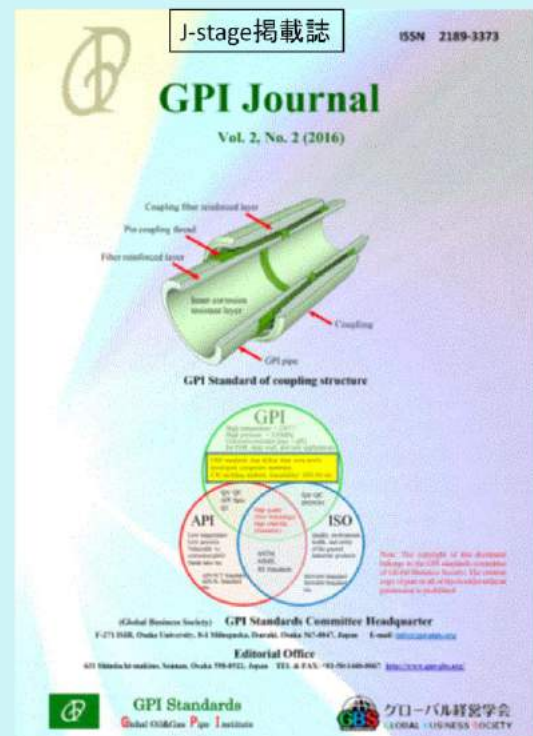
油井用等FRP管の安全性と経済性の両面を追及する設計・施工・管理技術者に必要・有効な技術標準を提供すること。

FRP油井管の代表規格

API は 250 気圧まで

GPI は 2500 気圧を超える領域まで

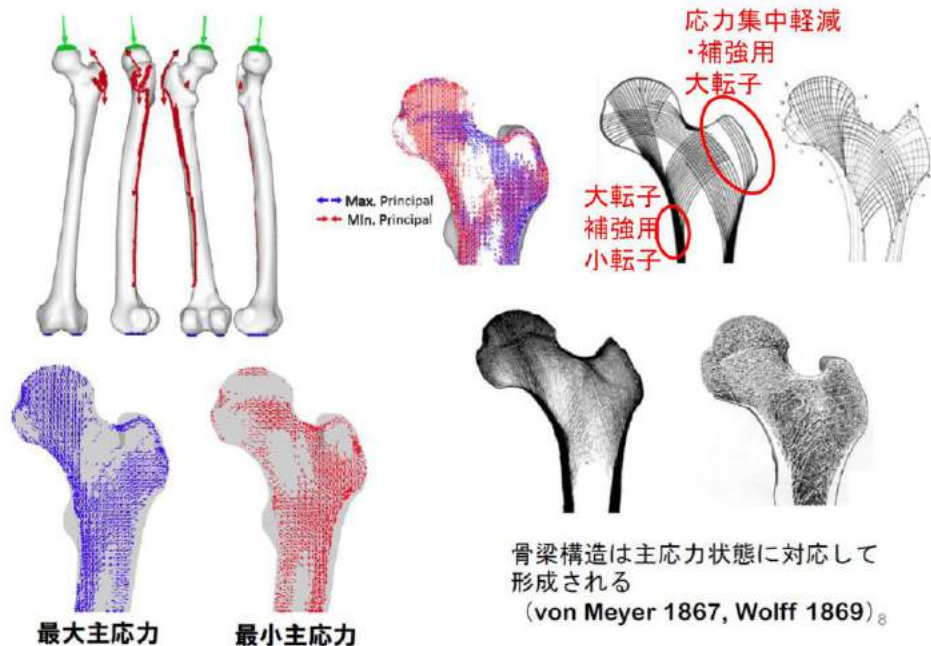
GPI は、日本発の世界規格



解析例～骨梁構造と主応力分布の関係～

生体
(大腿骨・骨梁)
における
適応化

応力分散



九大応力研
東藤を補足



FRPの設計要点： コストパフォーマンスのいい製品

(1) Even tension

(2) 応力は集中させず，分散

(3) 繊維含有率

(4) 繊維伸び率，樹脂伸び率

ガラス繊維vs炭素繊維

伸び率 ガラス繊維(～6%)，炭素繊維(1.5%)

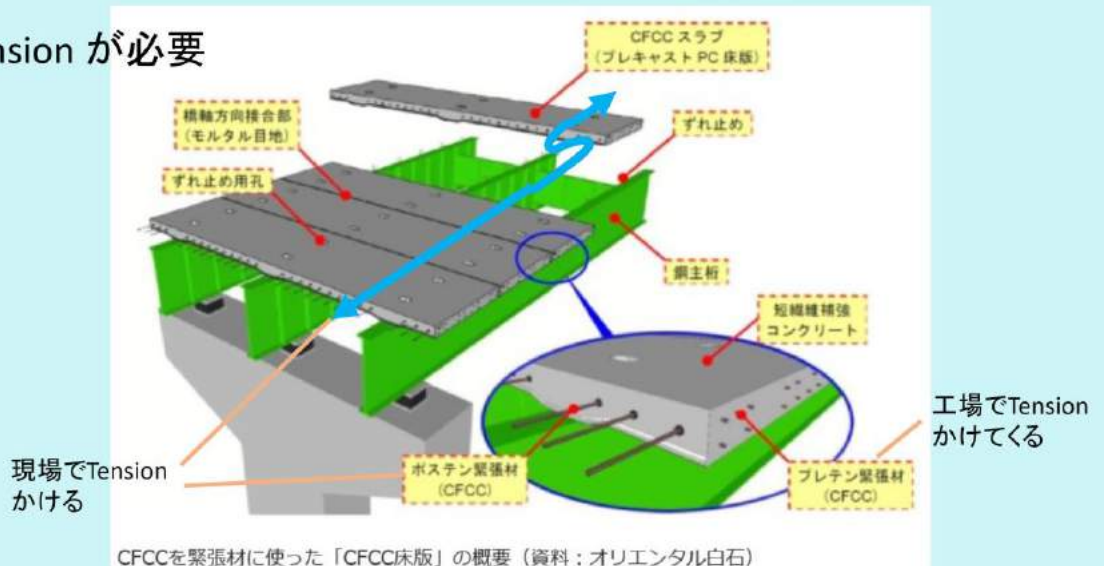
(3) ノッチ(劣化の元)は作らないように

道路橋用のプレキャストPC(プレストレスト・コンクリート)床版

身近な例 1

炭素繊維複合材ケーブル(CFCC)を緊張材に

(1) Even tension が必要



(2) 応力集中が無いことが必要

破壊の元は ノッチ

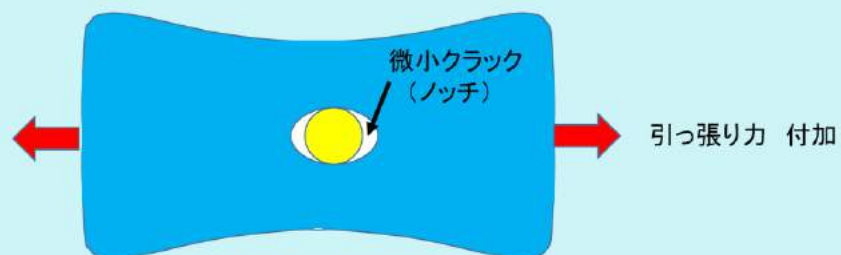
応力集中可能部(ノッチ)



FRP

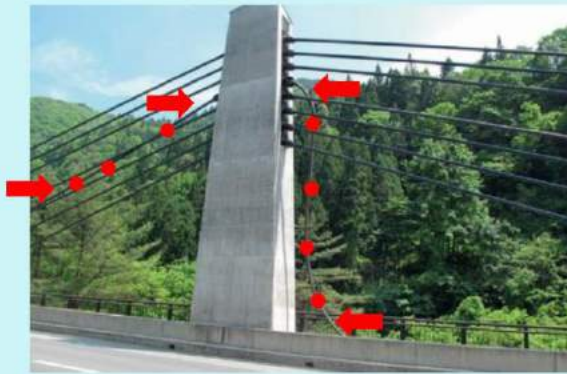


引っ張ると



微小クラック発生と伝播: クリープ・弾性劣化・疲労

身近な例 2



ケーブル破断の例

明石海峡大橋ケーブルの腐食状況を調査 **本四高速**

吊橋で最も重要なケーブルは、取り替えようには維持管理しなければなりません。日本の吊橋で初めて、ゴムラッピングとケーブル防食システムを採用し、ケーブル内の管理をしています。

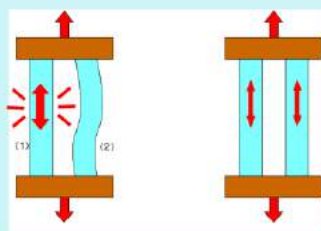
今回、200年以上の長期にわたる維持管理に、明石海峡大橋のケーブルの腐食状況は、西側ケーブルの中央径間に仮足場をドスドスの乾燥空気の排気力バーを外し、を除去し、実施しました。調査の結果、部、ゴムラッピング部とも予想どおり十分

酸化亜鉛（白さび）が見られるものの鋼線の腐食（赤さび）は見られませんでした。（ラッピングを除去したケーブル裏側）

今後、サンプリングしたゴムを、室内試験で確認していきますが、十分計画以上の機しています。今回のデータが、乾燥空気によるケーブル防食システムの実証データと

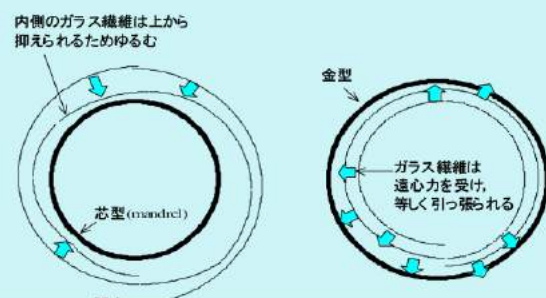
明石大橋ケーブル 200年維持

Even tension (均一テンション) なぜ遠心成形(CW)管は強いのか



(a) 一方が弱い (×) (b) 均等張力 (○)

2枚の紙の強さ。均等張力が強い。



(a) 外巻き従来法 (FW ; △) (b) 遠心成形法 (CW ; ◎)

管の成型：遠心成型(CW)法は、均等張力にできる。

平成の敗北

日経 平成31年4月22日

株式時価総額世界の上位企業



平成1年(1989年)

- 1 NTT
- 2 日本興業銀行
- 3 住友銀行
- 4 富士銀行
- 5 第一勧業銀行
- 7 三菱銀行
- 9 東京電力
- 11 トヨタ自動車
- 13 三和銀行
- 14 野村証券

平成31年4月

- 1 アップル(米)
- 2 マイクロソフト(米)
- 3 アマゾン(米)
- 4 アルファベット(米)
- 5 パークシャー・H(米)
- 41 トヨタ自動車
- 82 ソフトバンク
- 129 NTT



本日の研究発表会

世界最高の水素タンクを目指して

all Japanで本音の議論

元になる遠心成形管は NEDO支援
それを利用した水素タンクは NEDO 2連敗
新技術開発財団(市村財団)で辛うじて
日の目を見る

審査能力？



本日は、自動車等関係主要社にお越しいただけたので、
日本再起のきっかけをつかめればと期待



水素蓄圧複合容器の設計・評価技術の開発

2019年 5月17日(金)

大阪大学 大学院 工学研究科
ビジネスエンジニアリング専攻

教授 倉敷 哲生

1

内 容

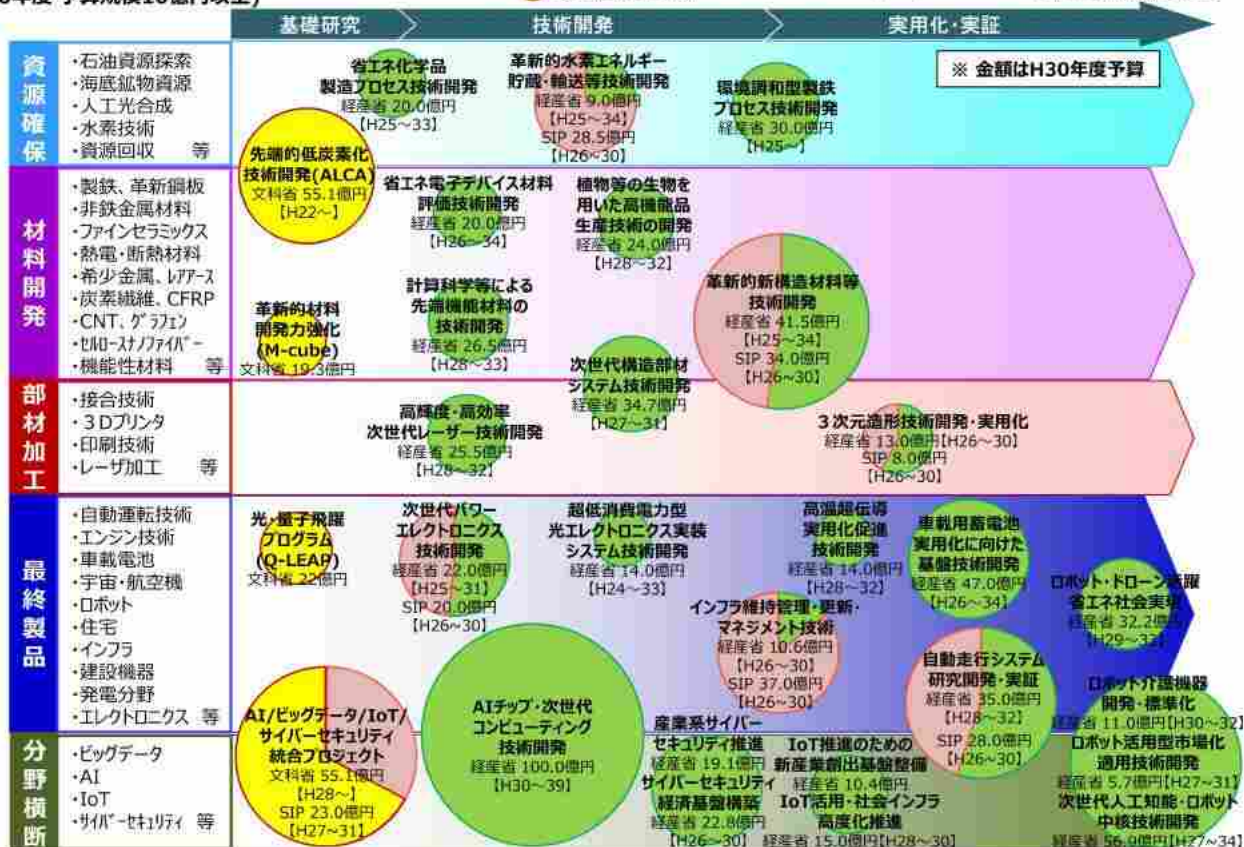
- 1. 我が国の製造産業技術開発施策の俯瞰**
2. マルチスケール解析技術
3. 水素貯蔵タンクの設計・評価
4. 連携による研究・開発の加速

2

製造産業技術開発施策の俯瞰

(H30年度 予算規模10億円以上)

● 経産省プロジェクト ● 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
● 文科省プロジェクト (各府省公開情報に基づく)



高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業費

平成31年度予算額 **42.0億円 (35.0億円)**

製造産業局 自動車課
03-3501-1690

事業の内容
事業目的・概要 ● 環境・エネルギー制約への対応の観点から、我が国のCO2排出量の約2割を占める運輸部門において、新たな取組である自動走行の普及による省エネへの期待が高まっています。 ● 一方で、高度な自動走行システムの社会実装に向けては、産学官の協調が不可欠な安全性の評価や事業環境等の課題が存在します。 ● 本事業では、関係省庁とも連携して、安全性・社会受容性・経済性の観点や、国際動向等を踏まえつつ、安全性評価技術の研究開発を進めるとともに、高度な自動走行システムの実証等を通じて世界に先駆けた社会実装に必要な技術（後続車両が先行車両に追従する技術、遠隔操作・監視する技術等）や事業環境等の整備を行います。
成果目標 ● 平成28年度から平成32年度までの5年間の事業であり、公道を含む実証事業等を通じ、高度な自動走行システムの社会実装に必要な安全性評価技術の開発や事業環境等の整備を行います。 ● 平成32年度までにトラック隊列走行技術を確立し1台あたり10%程度以上の省エネを目指します。
条件（対象者、対象行為、補助率等）

事業イメージ
高度な自動走行システムの実証のイメージ（例） <トラックの隊列走行> 電子連結システム(通信及びセンサなどにより、物理的に牽引することなく、後続車両が先行車両に追従することを可能とするシステム)により、2台目以降の後続車両は無人として隊列を組む走行を実証。 <管制自動走行> 特定の条件(道路・駐車場、速度、環境等)において、遠隔の管制センターからオペレーターが車両の周辺状況や車両の挙動を監視する等の条件の下、車両の自動走行を実証。

輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業

平成31年度予算額

33.5億円 (41.5億円)

産業技術戦略
産業技術プロジェクト推進室
03-3501-9221

事業の内容

事業目的・概要

- 本事業では、エネルギー使用量及びCO2排出量削減を図るため、その効果が大きい輸送機器（自動車、鉄道車両等）の抜本的な軽量化に資する技術開発等を行います。
 - 具体的には、
 - ① 材料特性を最大限活かした輸送機器の軽量化のため、複数の材料を適材適所に利用したマルチマテリアル化の最適設計手法、評価手法、CFRPからの炭素繊維リサイクル技術等の開発を行います。
 - ② 複数の材料を適材適所に使うために必要な、接合・接着技術の開発を行います。
 - ③ 強度、加工性、耐食性等の複数機能とコスト競争力を同時に向上させた革新鋼板、マグネシウム合金等鉄軽量金属材料、炭素繊維複合材料や、小型・高効率モーターを実現する高性能磁石等の開発を行います。
- これらの最適設計・評価手法、接合・接着技術、材料開発が一体となった開発を通じ、輸送機器の抜本的な軽量化につながるマルチマテリアル化による省エネルギー化を世界に先駆けて実現します。

成果目標

- 平成26年度から34年度までの9年間の事業であり、本事業を通じて輸送機器の原材料を革新的新構造材料等に置き換えることで、抜本的な軽量化（自動車車体の場合50%軽量化）及び平成42年度において約511万トン/年のCO2排出量削減を目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

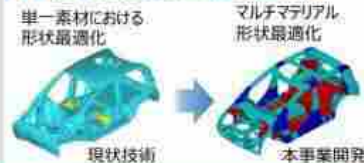


事業イメージ

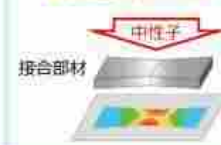
（1）最適設計・評価手法等開発

マルチマテリアル化に対応した最適設計ツールの開発を行うと共に、中性子計測技術により、接合部等の非破壊評価技術の開発を行う。

例）マルチマテリアルCAEによる形状最適化



例）中性子計測技術による非破壊評価イメージング



（2）接合・接着技術開発

難接合材の同種間や、異種材料間（軽金属/複合材料間等）の、接合・接着技術を開発し、革新材料の実用化、マルチマテリアル化を促進する。

例）炭素繊維増強樹脂接合技術



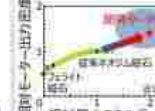
（3）材料開発

強度、加工性、耐食性等の複数機能を同時に向上させた構造材料や、高性能新規磁性材料等を開発する。

例）性能ポテンシャル向上

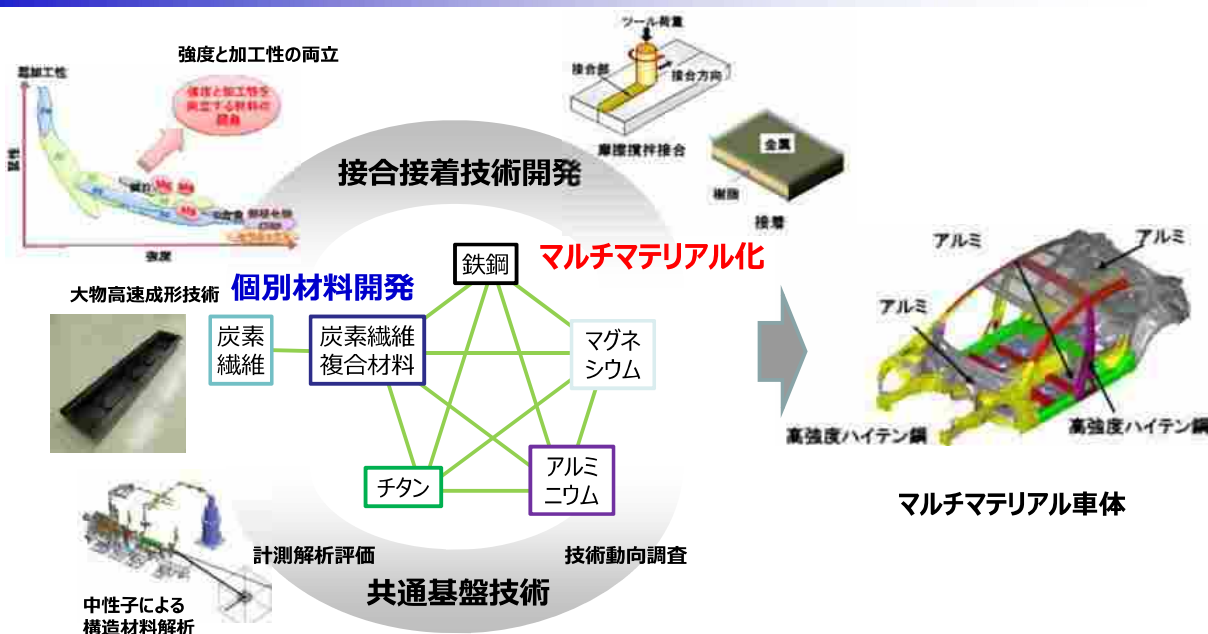


例）新磁石開発



5

革新的構造部材等の研究開発の推進



マルチマテリアル化を実現するために、異種素材をつなぐ接合技術の促進

・「高強度ハイテン鋼／高強度ハイテン鋼」、「鋼板／軽金属」、「金属／樹脂」など

輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業の推進
(革新的新構造材料等技術開発)

6

計算科学等による先端的な機能性材料の技術開発事業

平成31年度予算額 26.5億円（26.5億円）



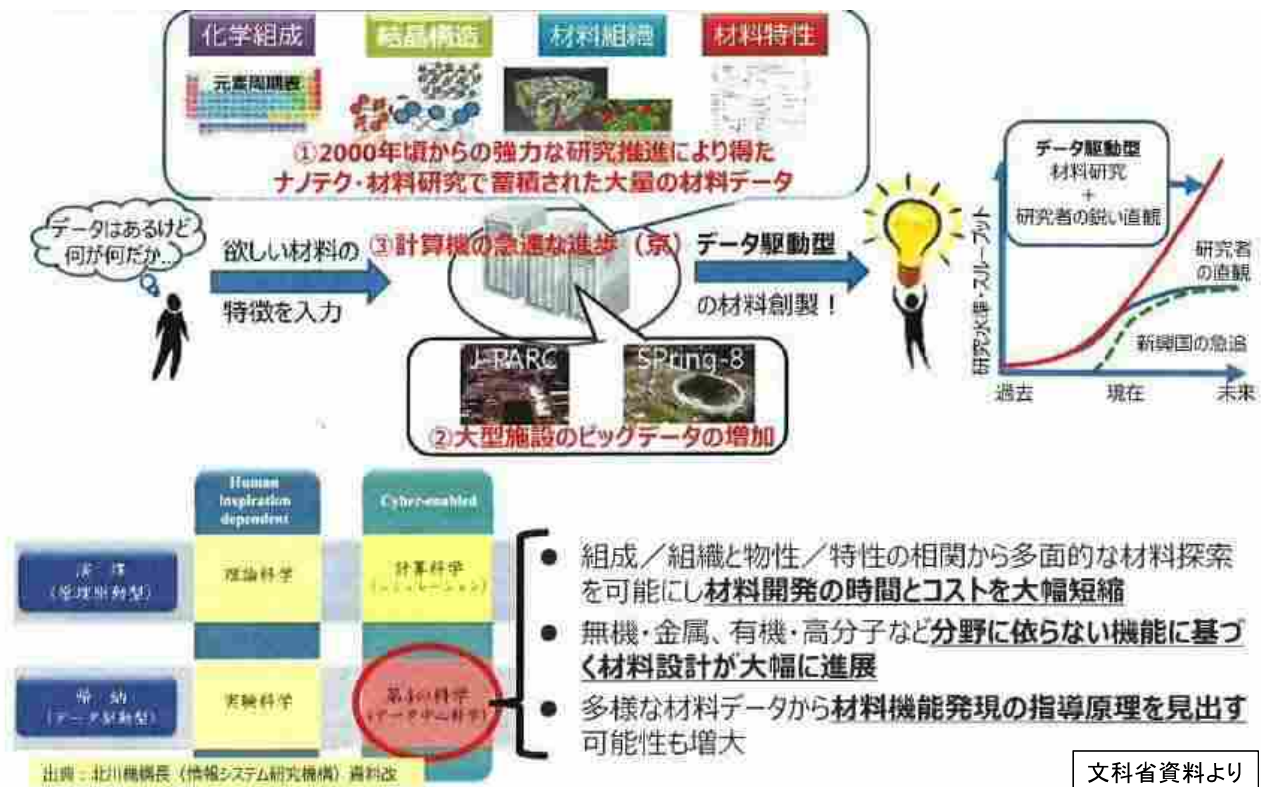
7

内 容

1. 我が国の製造産業技術開発施策の俯瞰
2. マルチスケール解析技術
3. 水素貯蔵タンクの設計・評価
4. 連携による研究・開発の加速

8

何故、インフォマティクス？



9

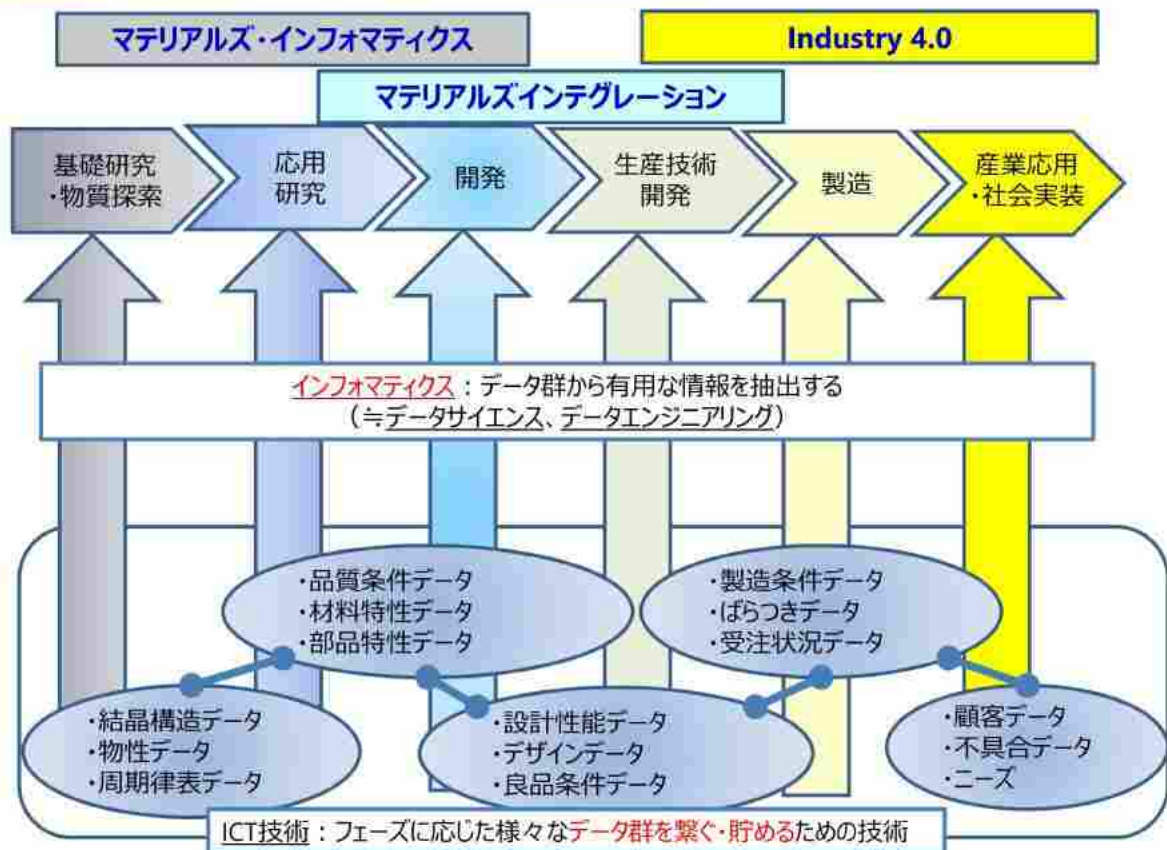
マテリアルズ・インフォマティクスの国外動向

- マテリアルズ・インフォマティクス (M I) とは、計算科学と材料科学を融合した材料設計手法。最先端素材の開発から上市までの期間短縮が期待。
- 国外勢の動きに留意。
 - ① 網羅的な材料探索により物質特許を押さえにくる可能性 (中国)。
 - ② 解析ツールの開発やデータベースの整備などの情報科学分野で我が国に先行 (欧米)。
 - ③ 予算規模が大。

<米国> Materials Genome Initiative		- シミュレーション、実験、デジタルデータを統合的に活用することで、材料の開発期間短縮を目指す。 - 出口用途は、クリーンエネルギー、次世代の人材育成、安全保障、生活向上。	2011年度から3年間で260百万\$ 2014年度は年間150百万\$
<欧州> ICMEg Integrated Computational Materials Engineering		- ミクロからマクロまでのシミュレーションソフトウェアを組み合わせて、複雑な事象を予測。 - シミュレーションに特化。材料解析シミュレーションソフトウェアベンダーが集結。	2014年4月より3年間で3.4百万€
<中国> 中国版 MGI		人海戦術で網羅的に材料探索を進め、その材料の知的財産の確保を目指す。	総額100億円規模
<韓国> Creative Materials Discovery Project		- 米国のMGIの動きに触発されて計画。 - 構造材料、希少元素代替材料、電子 (半導体) 材料、人機能増幅材料など4つの出口を対象。	2015年から10年計画で約300億円規模。
<日本> 文科省、内閣府、経産省		文科省PJ、内閣府SIPで府省連携の取組を推進。経産省PJは有機・機能性材料を対象。	文科省PJ 4.5億円 (2015年度) 内閣府SIP 35億円 (2015年度) 経産省PJ 19.5億円概算要求

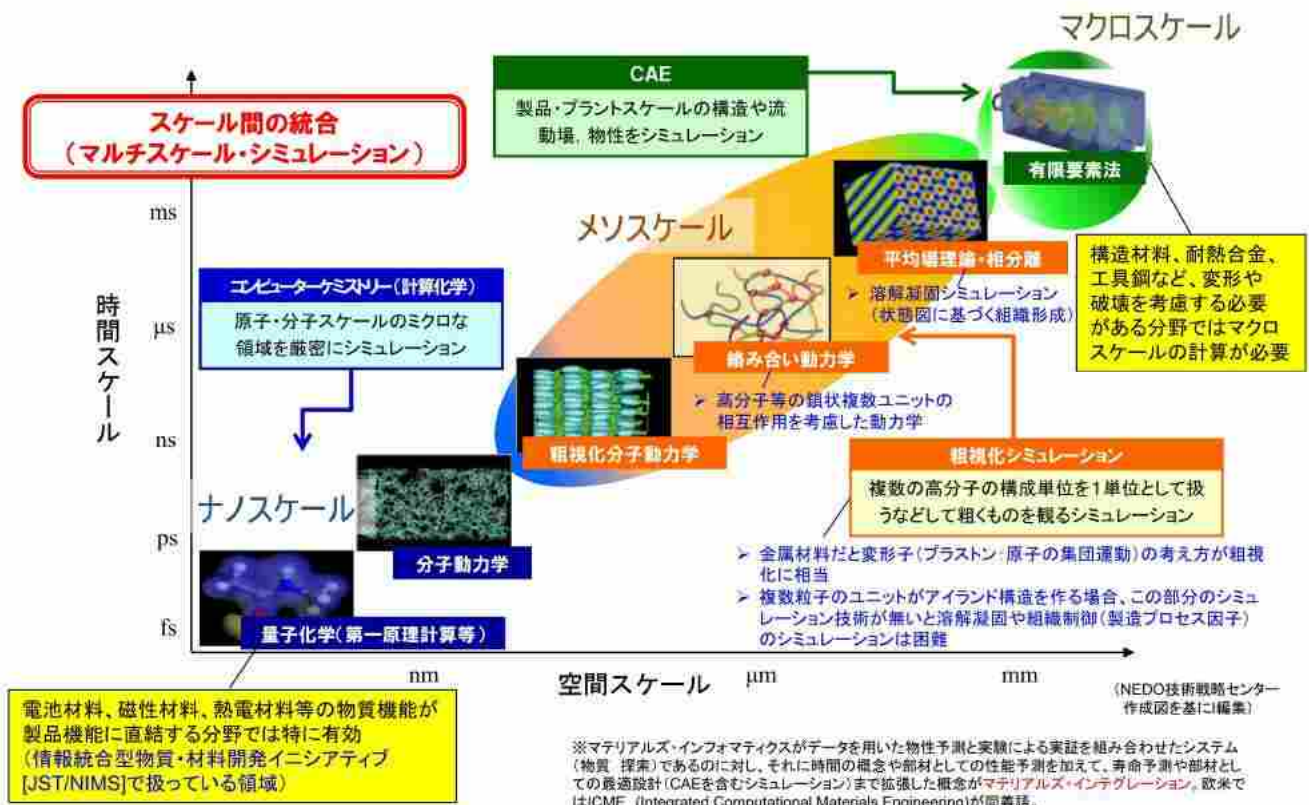
10

マテリアルズ・インフォマティクス／Industry 4.0



11

シミュレーション技術の空間・時間スケール



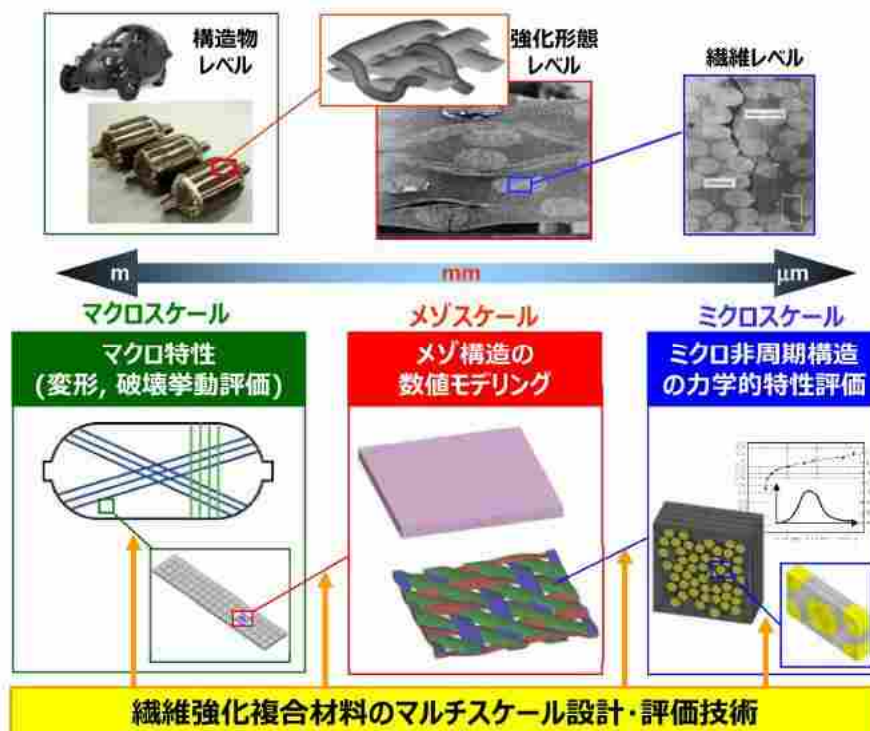
※マテリアルズ・インフォマティクスがデータを用いた物性予測と実験による実証を組み合わせたシステム(物質探索)であるのに対し、それに時間の概念や部材としての性能予測を加えて、寿命予測や部材としての最適設計(CAEを含むシミュレーション)まで拡張した概念がマテリアルズ・インテグレーション。欧米ではICME (Integrated Computational Materials Engineering)が同義語。

12

1. 我が国の製造産業技術開発施策の俯瞰
2. マルチスケール解析技術
3. 水素貯蔵タンクの設計・評価
4. 連携による研究・開発の加速

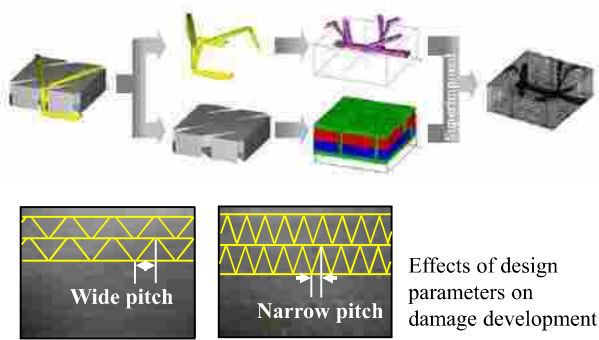
13

繊維強化複合材料のマルチスケール設計・評価技術

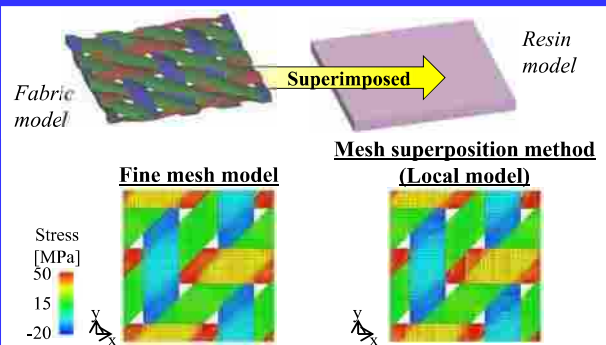


14

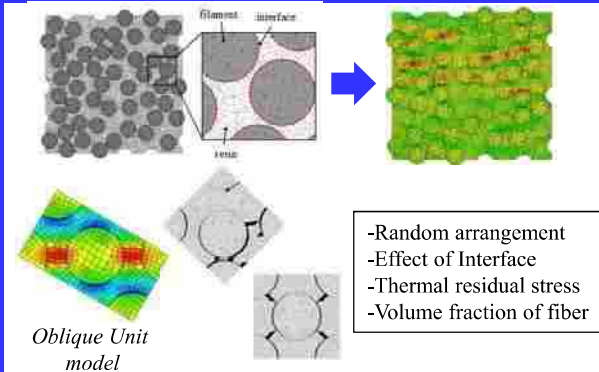
縫合繊維強化複合材料の設計・解析



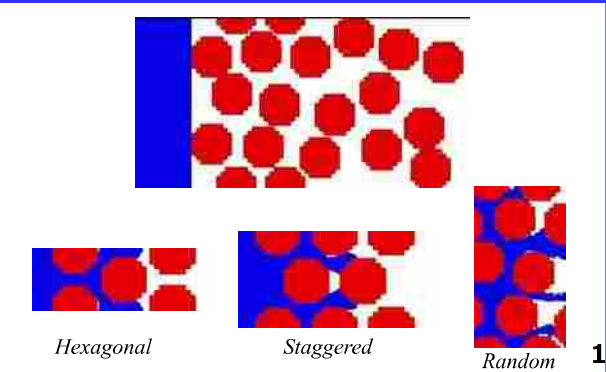
組物複合材料の重合メッシュ解析



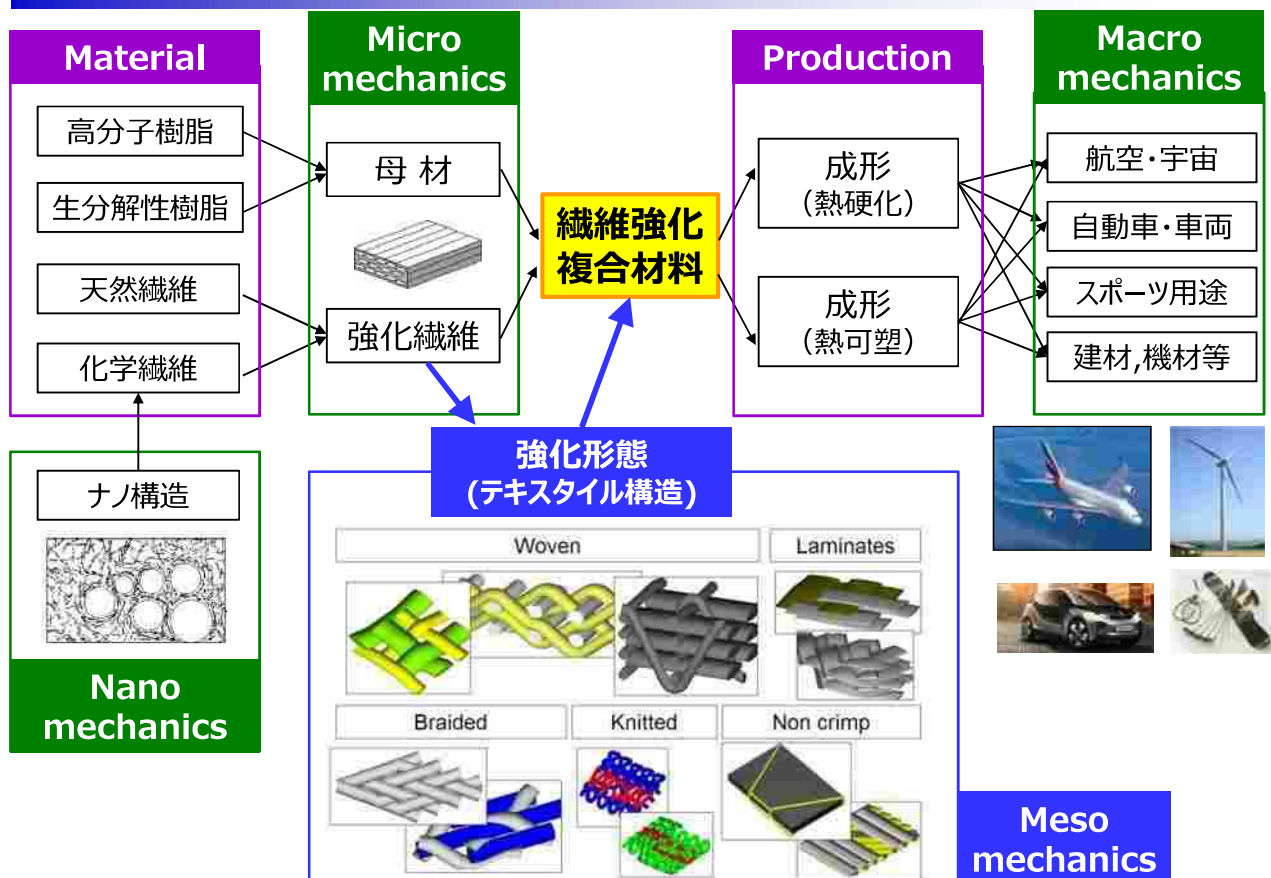
ミクロ構造の不確定性を考慮した力学的特性評価



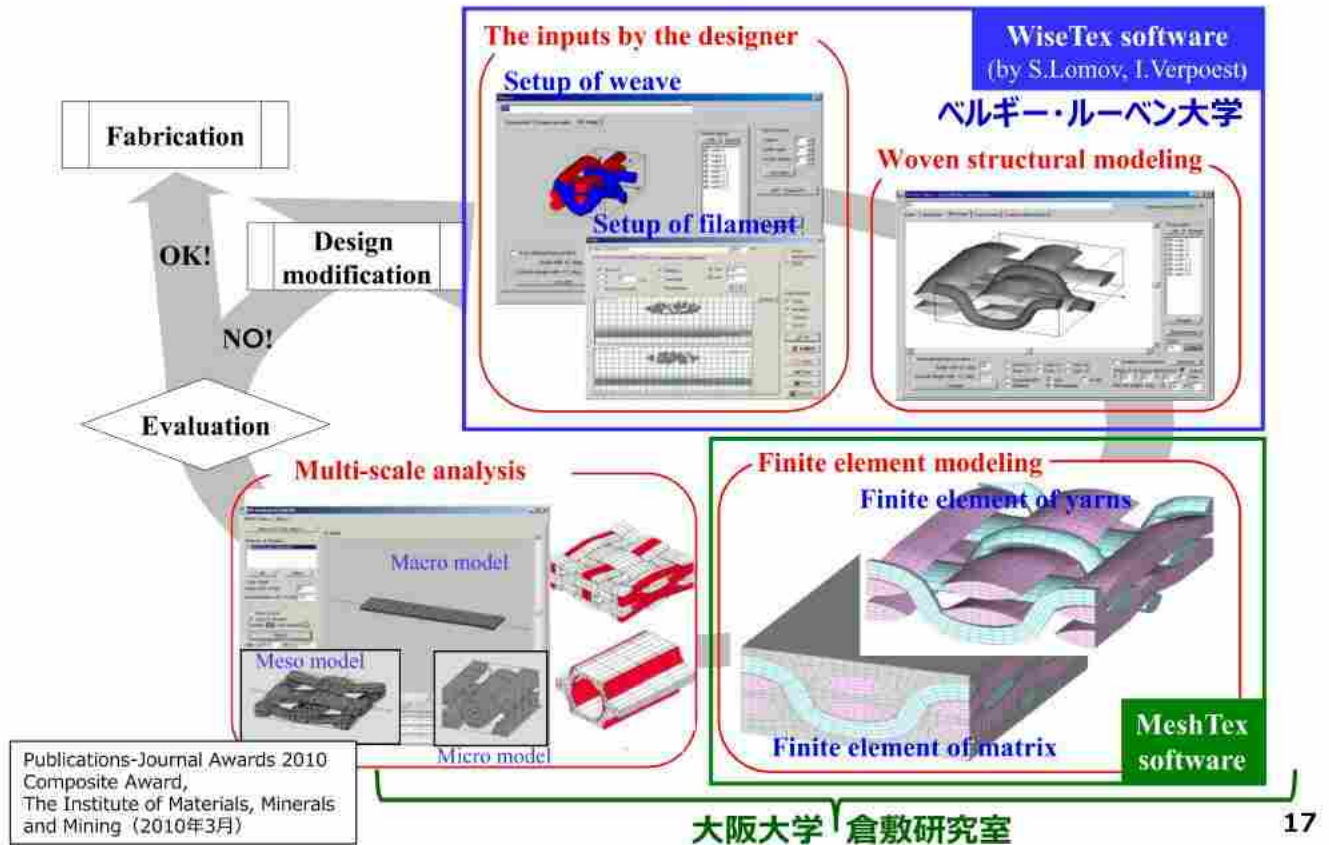
粒子法に基づく繊維強化複合材料の樹脂流動評価



繊維強化複合材料の機能発現に向けて



テキスタイル複合材料のマルチスケール解析システム



テキスタイル複合材料解析システム Composites Dream

engineering-eye 伊藤忠テクノソリューションズの科学・工学系情報サイト

CTC

カテゴリ プロダクト イベント＆セミナー レポート＆コラム お客様の広場

HOME > プロダクト一覧 > Composites Dream > 機能

Composites Dream

機能

動作環境

定期セミナー

資料請求/お問い合わせ先

WiseTex
(形状作成)

KU LEUVEN

MeshTex & M³
(解析モデル作成)

形状ファイル → 入力ファイル → SACOM (ソルバー) → 結果ファイル

Composites Dreamは、テキスタイル複合材料の形状作成、メッシュ作成、解析までを半自動で行うシステムであり、以下の機能から構成されています。

WiseTex*	テキスタイル形状作成 *KU Leuven
MeshTex	有限要素モデル作成＆結果処理 (プリアポスト)
SACOM	解析ソルバー
M ³ (エム・キューブ)	解析機能・M ³ 法 (マルチスケール) 解析

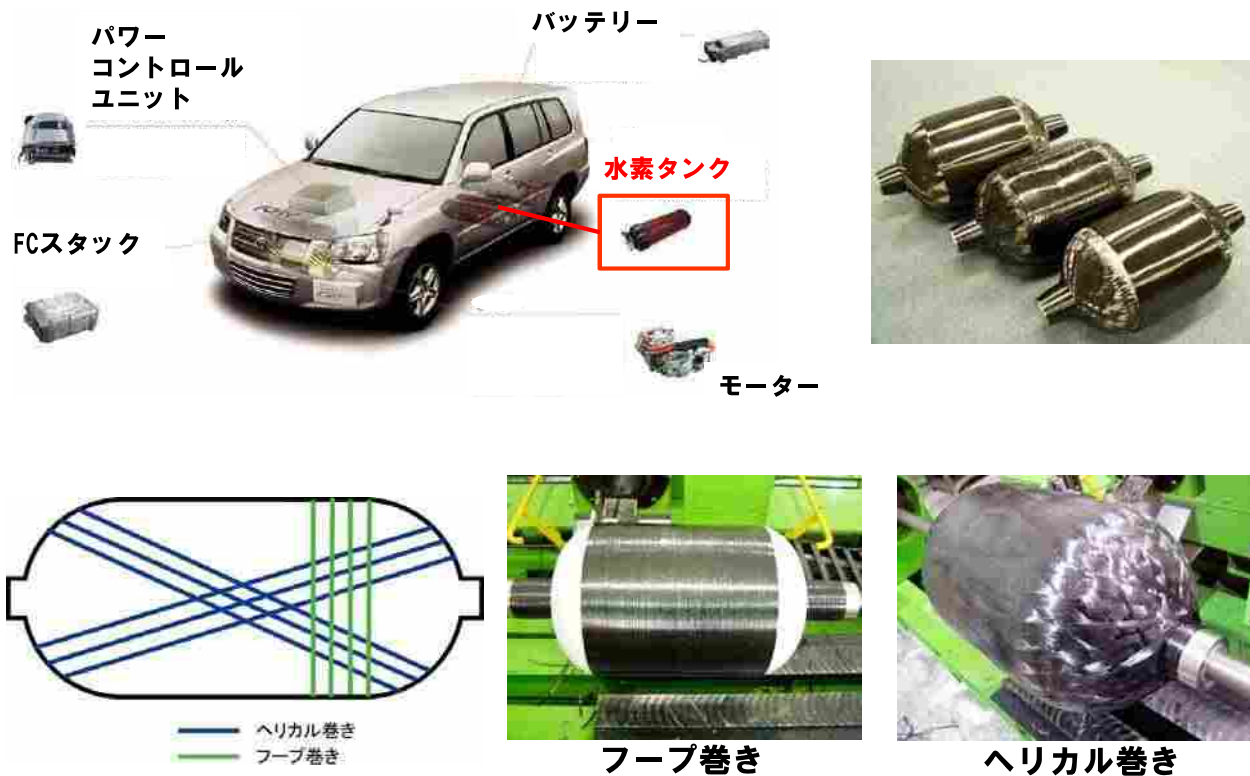
これらの機能により、

- 繊維複合材料、植物複合材料、複合複合材料のモデル化やメッシュ化が容易に行える。
- 均質化解析やダメージ解析なども手軽に実行できる。
- 複合材料部材とその組織をシームレスに跨るマルチスケールでの解析が可能である。

以上のようなメリットがあります。

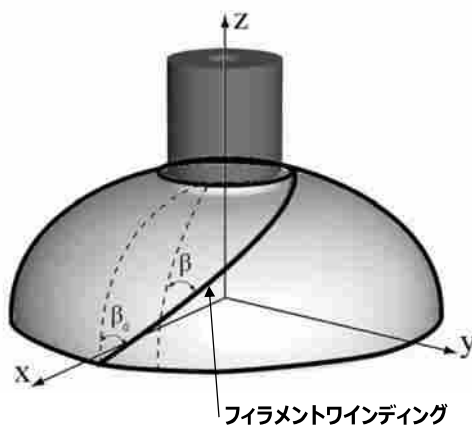
http://www.engineering-eye.com/COMPOSITES_DREAM

燃料自動車用 水素貯蔵タンク



19

水素貯蔵タンクの構造設計手法の課題



膜理論

フィラメントワインディング容器を膜構造と考えたもの

網目理論

荷重は、繊維のみが受け持ち、FRPの樹脂部の剛性を無視したもの

簡便なモデルより、ドーム形状、厚みの算出が可能

問題点

膜理論

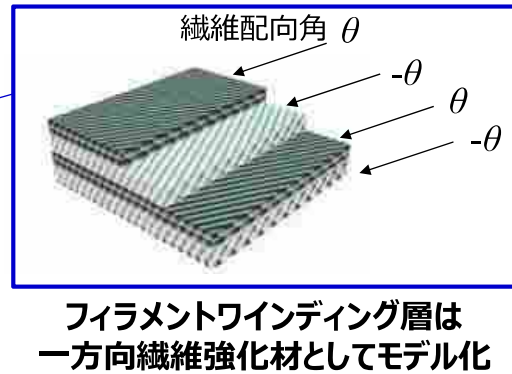
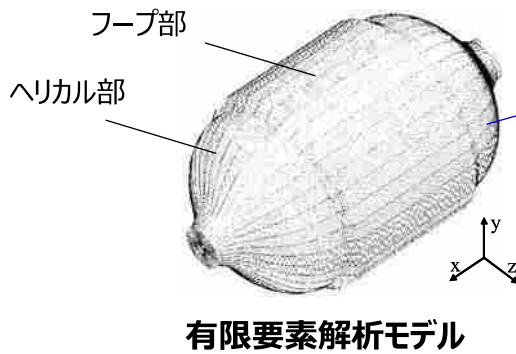
曲げの影響が考慮されていない

網目理論

FRPの損傷が考慮されていない

20

異方損傷力学に基づく有限要素解析



◆有限要素解析上のポイント

- ・CFRP層の方向性を考慮したモデルの作成
- ・繊維破断のみならず樹脂き裂も考慮した損傷進展挙動の評価(異方損傷力学)

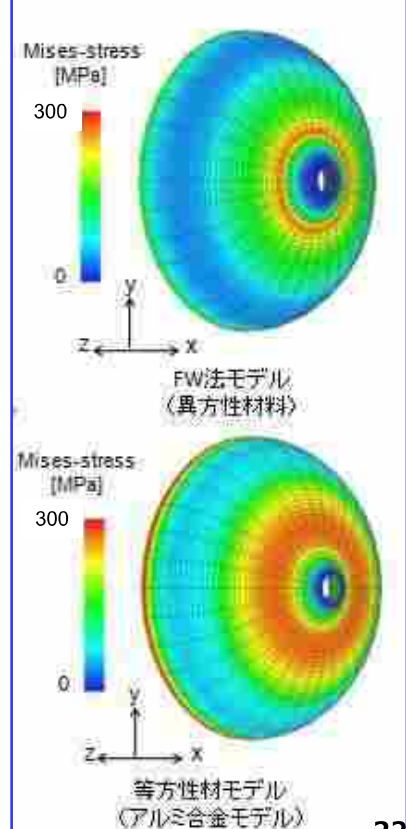
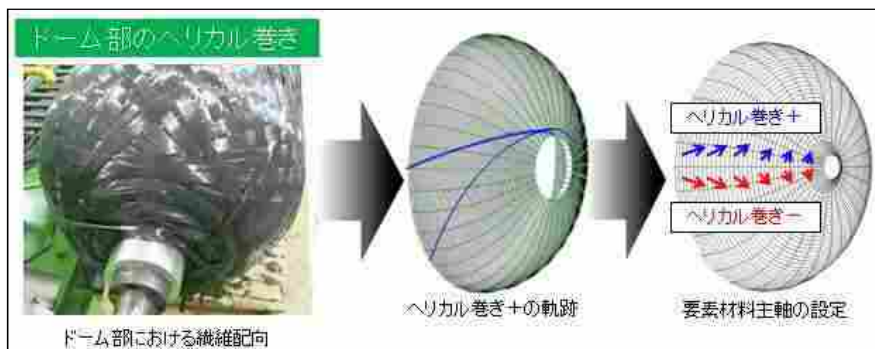
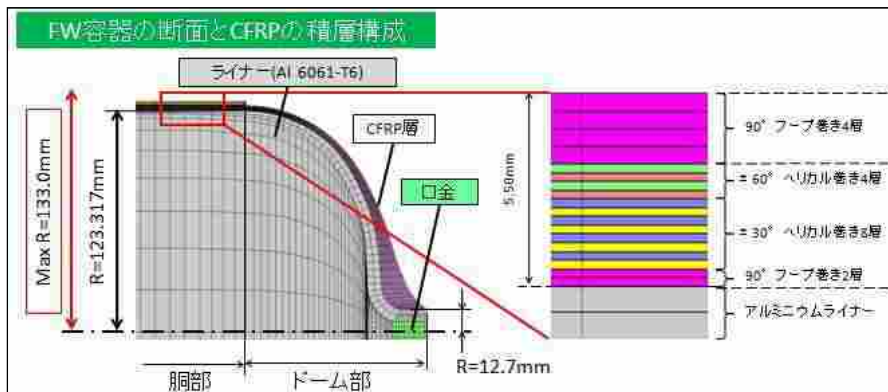
◆口金部の設計

1. 形状設計
2. 傘部の径など寸法最適化

◆ FRP層の設計

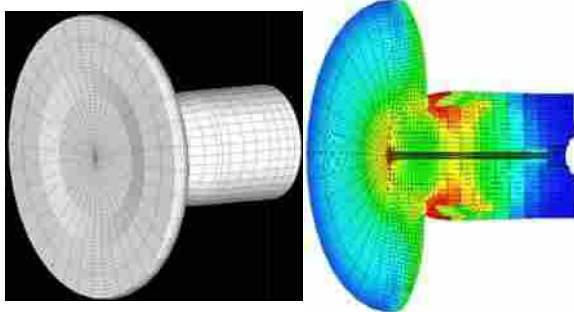
1. 積層構成 (フープ部,ヘリカル部), 2.厚み
3. 物性値, 4. 繊維配向角

水素圧力容器のシミュレーション



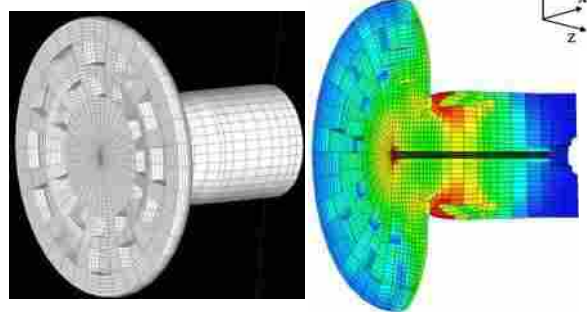
口金形状の設計事例

Case 1



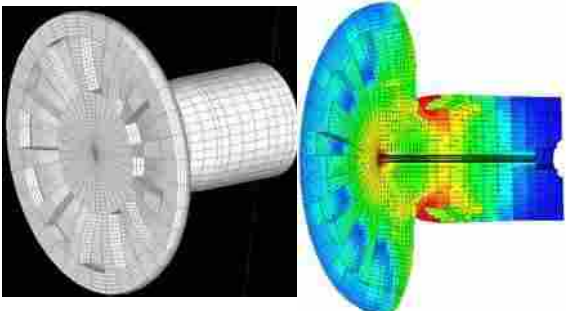
重量 3.167kg

Case 2



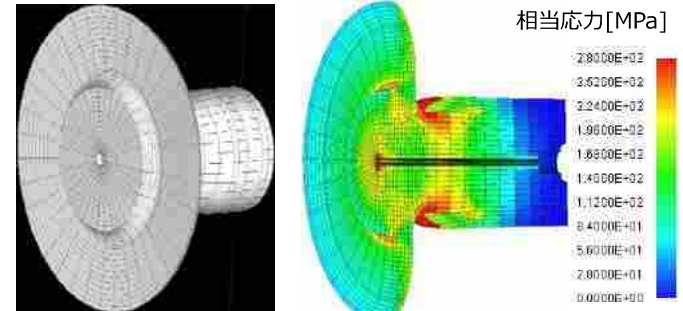
重量 2.953kg

Case 3



重量 2.896kg

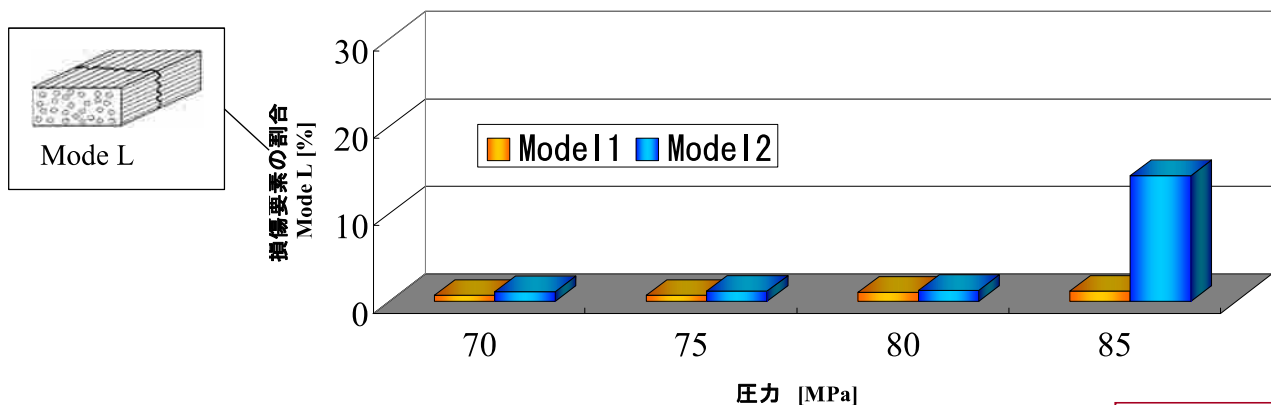
Case 4



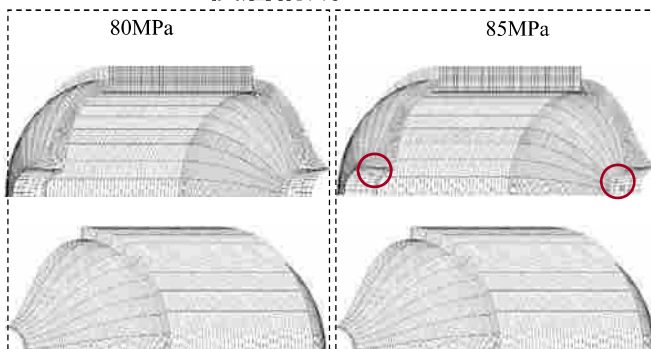
重量 2.049kg

23

損傷進展解析に基づく積層構成の検討

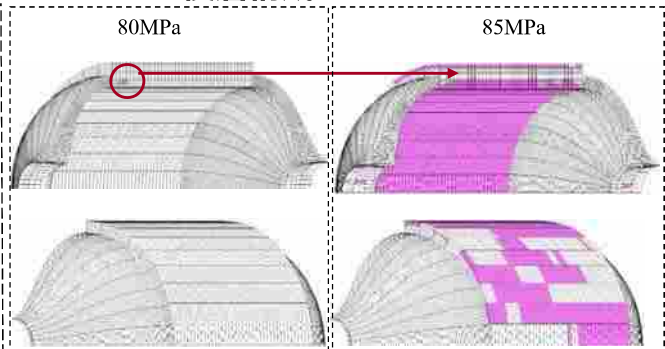


積層構成 Model 1



破裂に直接つながる要素ではない

積層構成 Model 2



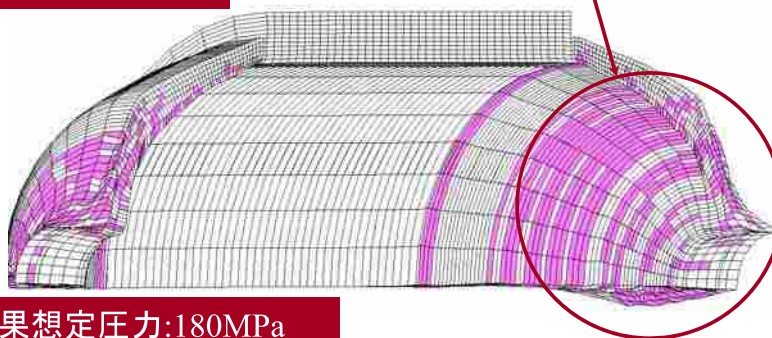
胴部でL方向の損傷が進展

70MPa級水素貯蔵タンクの耐圧試験結果



- NEDO 地域新生コンソーシアム研究開発事業
「燃料電池自動車用70MPaプラスチック高压容器の研究開発」での研究成果
(丸八(株)、大阪大学、東京大学、首都大学東京、武生特殊鋼材(株))
- JEC Innovation Awards
2014受賞
(世界最大の先端複合材料展)

耐圧試験圧力:174MPa



解析結果想定圧力:180MPa

損傷進展解析の損傷状態と破壊形態が類似

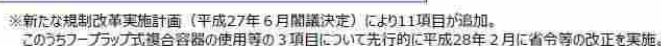
内 容

1. 我が国の製造産業技術開発施策の俯瞰
2. マルチスケール解析技術
3. 水素貯蔵タンクの設計・評価
4. 連携による研究・開発の加速

資源エネルギー庁
水素・燃料電池戦略協議会
(H28年3月22日改訂)



経済産業省 産業構造審議会
保安分科会 (H28年4月11日)



燃料電池自動車の普及促進に向けた水素ステーション整備事業費補助金 平成31年度予算額 100.0億円 (56.0億円)

資源エネルギー庁
省エネルギー・新エネルギー部
水素・燃料電池戦略室
03-3501-7807

事業の内容

事業目的・概要

- 水素を燃料とする次世代自動車である燃料電池自動車（FCV）は、国内外の自動車メーカーによって、開発競争が進められ、日本では、平成26年12月に世界に先駆けて量産車の販売が開始されました。
- 本事業では、世界に先駆けたFCVの自立的な普及を目指すため、水素ステーションの整備費用の一部を補助^{※1}することで、水素ステーションの整備を加速させます。まずは、①短期的に比較的大きな水素需要が見込まれる四大都市圏を中心とした地域（特に四大都市圏内の空白地帯や、四大都市圏を結ぶ幹線沿い等）、続いて②政令指定都市や政令指定都市間等を繋ぐ地域、そして③それ以外の未整備地域についても、地方自治体との連携を進めつつ、水素ステーションの戦略的な整備を図ります。
- また、FCVの普及拡大や新規事業者の水素供給ビジネスへの参入促進を図るため、水素ステーションを活用した普及啓発活動やFCVユーザーの情報の収集・共有等、FCVの需要を喚起するための活動に必要な費用の一部を補助^{※2}します。

※1 パッケージ及び移動式は2/3以内、その他のタイプは1/2以内（上限有り）
※2 2/3以内（上限有り）

成果目標

- 本事業を通じて、四大都市圏等を中心とした地域において平成32年度までに累計160箇所の水素ステーションの確保を目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）

国

補助

民間企業等

補助（2/3、1/2以内）

民間企業等

事業イメージ

空白地帯に整備

- 燃料電池自動車の潜在的な需要が高いたちかわらず、まだ水素ステーションの整備が進んでいない空白地帯への集中整備

四大都市圏等を接続

- 四大都市圏等を結ぶ幹線沿いを中心に水素ステーションを整備

首都圏

中原圏

関西圏

北陸九州圏

【水素ステーションの整備状況（整備中含む）計113箇所】

・首都圏	： 44箇所	・中原圏	： 30箇所
・関西圏	： 14箇所	・北陸九州圏	： 11箇所
・幹線沿等	： 14箇所		

※平成30年11月末時点

SS併設型
水素ステーション

コンビニ併設型
水素ステーション

FCバス対応
水素ステーション

29

水素ステーション用蓄圧容器の設計・評価

水素貯蔵容器の設計(KHK S 0128)

- ①耐圧設計
→FW(フィラメントワインディング)層、口金
- ②長寿命設計
→FW(フィラメントワインディング)層
- ③破裂前漏洩設計(Leak Before Burst: LBB)
→ライナー部



ライナー
=ガスバリア性を担う

↓

水素漏洩量が基準値
5ml/hrを超えない設計
(KHK S 0128による設計規格)



FW層(CFRP層)
=耐圧性を担う

↓

静的強度・疲労に関する
設計規格を満足する設計

口金=水素の充填口

↓

強度に関する設計規格を満足する設計

30

Society 5.0の本格実装 ～データ連携基盤の整備～

資料1-5

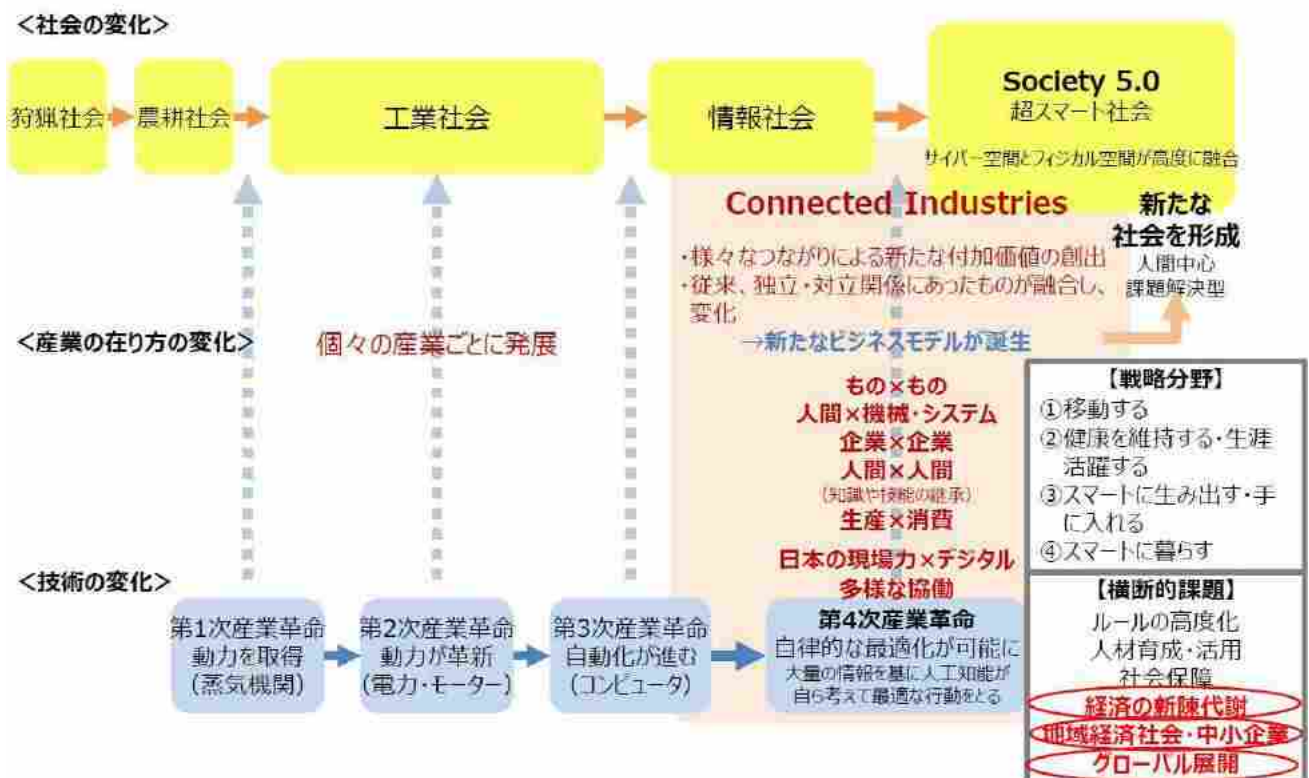
- Society 5.0の本格実装に向け、CSTIが司令塔機能を発揮し、データ連携基盤の取組みを推進
- 「人工知能」とビッグデータを共有・活用する「データ連携基盤」はSociety 5.0実現のための両輪
- ※ 欧米は、政府公共データを中心に様々なデータが繋がる仕組みを構築しつつあり、「データ連携大競争時代」が到来
- ※ 日本は、各省、産業界の取り組むデータベースがバラバラなため、データ連携の仕組みの構築が急務



- 世界に先駆けて人工知能を搭載し、あらゆる分野のデータが垣根を越えて繋がるデータ連携基盤を構築
- あらゆる分野から融合したビッグデータと人工知能を活用し、安全・安心、生産性革命、人生100年時代に大きく貢献

31

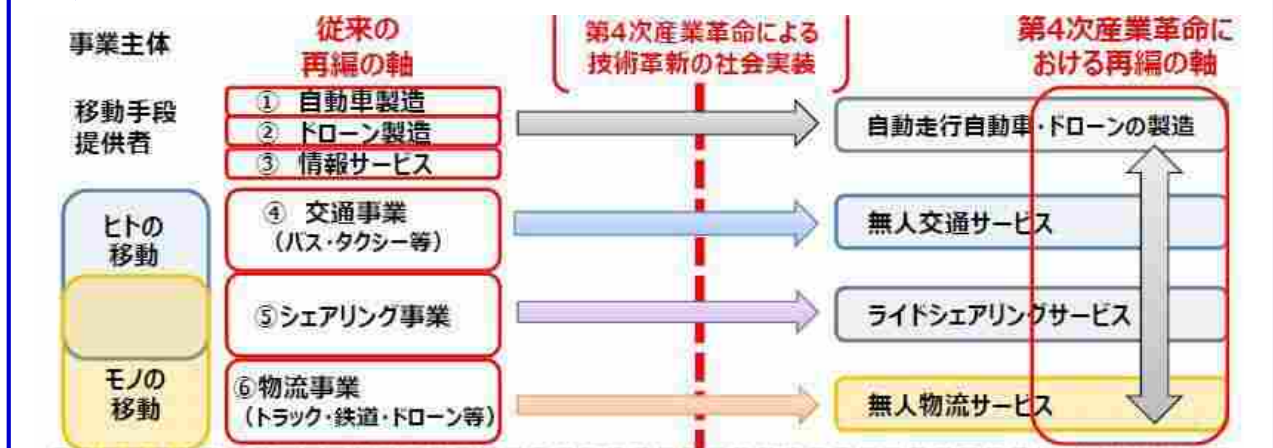
Society 5.0につながるConnected Industries



32

Society 5.0につながるConnected Industries

新たな産業構造転換



「ヒトの移動」における方向性



「モノの移動」における方向性



33

「モノ・ヒトの移動」の展開



Piaggio Fast Forward (PFF)
(USA, 2017)
Gita



ECCE Cycles
(Belgium, 2017)
From wood
to composites



Drone4Argo
(Netherlands, 2016)
Concept for drone for
Agricultural applications



HTT (USA, 2018?)
Passenger Hyperloop Capsule

34

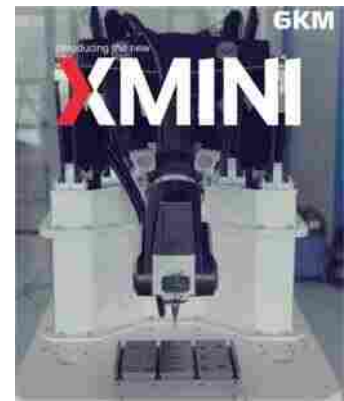
繊維強化複合材料の展開



Vestas en Technical Univ.
(Denmark, 2016)
Multi-rotor turbine
(Concept demonstrator)



Audi en noonee AG (2015)
Chairless Chair
(prototype)



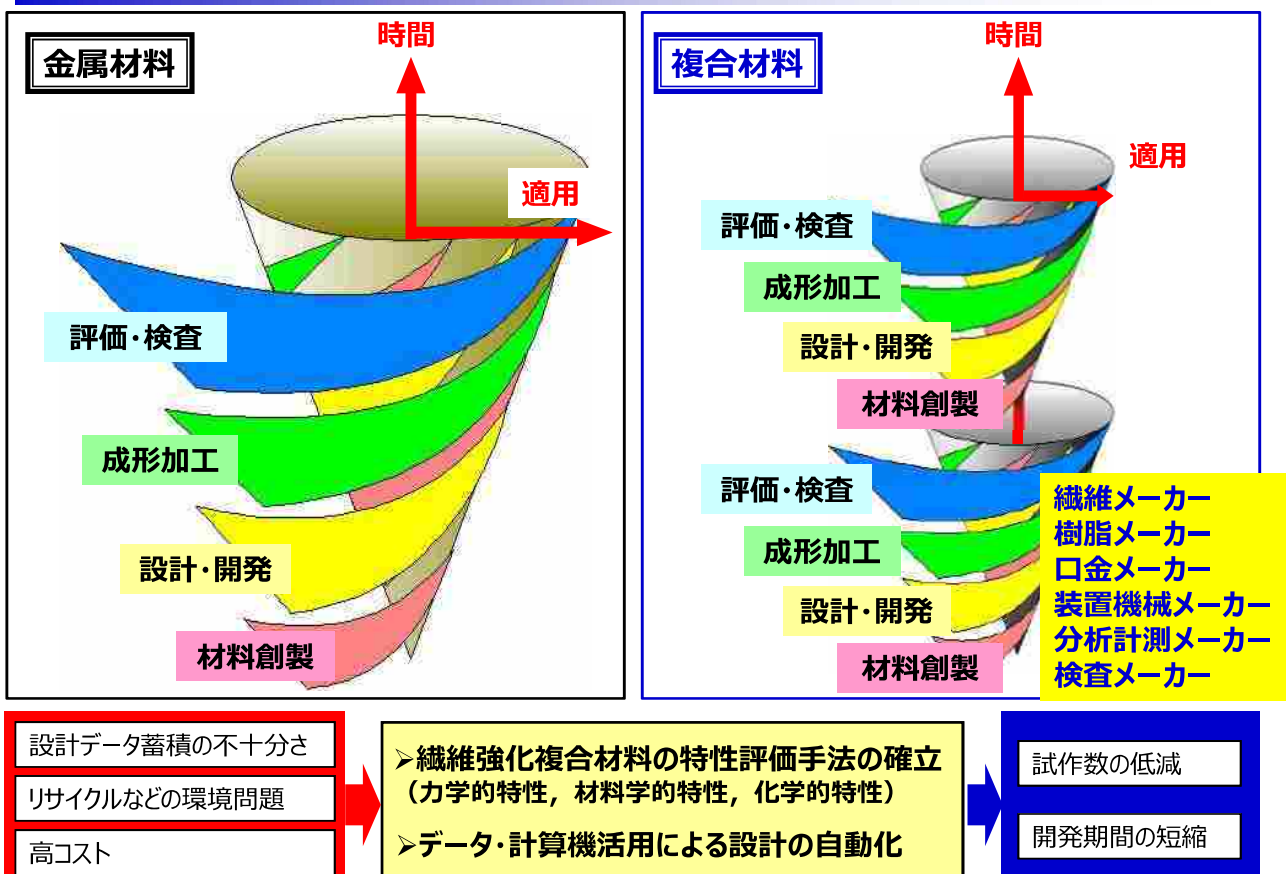
Exechon (2017)
XMini

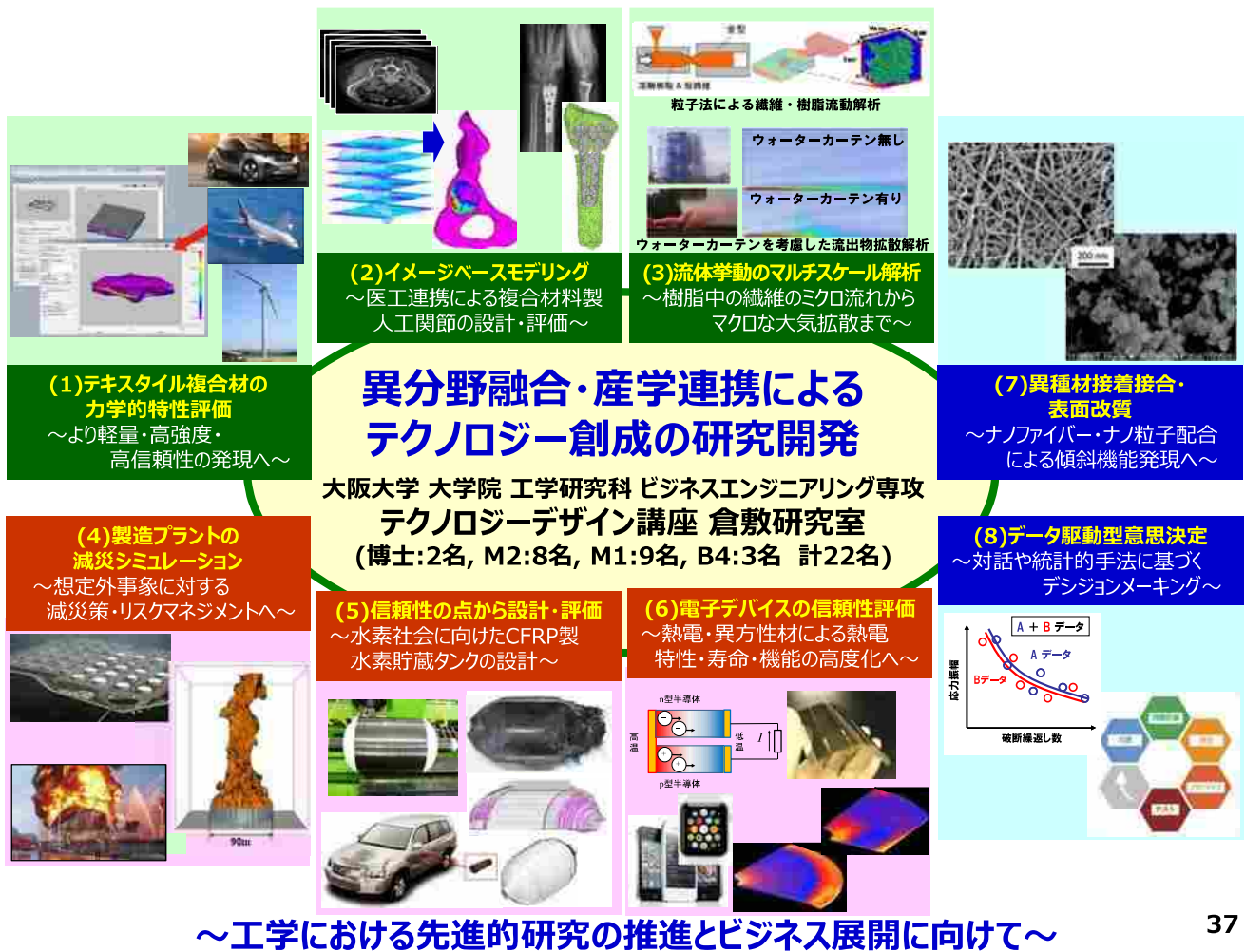


Singapore Lift Co. (2017)
Worlds first composite elevator

35

企業連携による技術開発の加速





37

大阪大学大学院工学研究科ビジネスエンジニアリング専攻 教授 倉敷哲生



連絡先



倉敷 哲生
(KURASHIKI Tetsusei)

E-mail: kurasiki@mit.Osaka-u.ac.jp
Tel/Fax: 06-6879-7563
URL:
http://www.mapse.eng.osaka-u.ac.jp/w8

主な研究内容

専門分野である「複合材料工学」「信頼性工学」を軸に、数値シミュレーション、マルチスケール解析技術、機能創成デザイン等の研究を異分野連携・産学連携により推進。工学の発展に寄与すべく、新たなテクノロジーの創成と評価技術の開発を実施。

- ・複雑構造系複合材料の機能発現のための数値解析システム開発
- ・複合材料を用いた骨・インプラント固定具の設計・評価に関する研究
- ・水素蓄圧複合容器のマルチスケール信頼性設計・評価技術の開発
- ・電子デバイス部材の信頼性評価
- ・リスクベースメンテナンスにおける影響度評価手法に関する研究
- ・フューチャーデザインに基づくワークショップデザインに関する研究 等

学歴／職歴

- 1993年3月 大阪大学工学部生産加工工学科 卒業
- 1995年3月 大阪大学大学院工学研究科生産加工工学専攻 博士前期課程修了
- 1997年3月 大阪大学大学院工学研究科生産加工工学専攻 博士後期課程修了, 博士(工学)
- (1996年4月～1997年3月 日本学術振興会 特別研究員)
- 1997年4月 大阪大学 助手(生産加工工学科)
- 2004年4月 大阪大学 助教授(ビジネスエンジニアリング専攻)
- (2011年5月～10月 ベルギー・カトリックルーベン大学 Visiting Professor)
- 2014年5月 経済産業省 製造産業局 戦略調整官
- 2016年10月 大阪大学 准教授(ビジネスエンジニアリング専攻)
- 2018年4月 大阪大学 教授(ビジネスエンジニアリング専攻)

受賞歴

- ・日本繊維機械学会 学術研究奨励賞 (2017年9月)
- ・2015年度 日本機械学会賞(論文賞) (2016年4月)
- ・2015年度 日本繊維機械学会 論文賞 (2015年6月)
- ・JEC Innovation Awards 2014 (2014年 3月)
- ・第17回 日本工学教育協会 工学教育賞 (2013年8月)
- ・Publications-Journal Awards 2010 Composite Award The Institute of Materials, Minerals and Mining(2010年3月) 等

主な論文

- ・フューチャーデザインとシナリオを組み込んだ防災ワークショップの有効性検証, 工学教育, 66(2), 42-47 (2018)
- ・セラミックス複合接着剤を用いたガラス繊維強化複合材料の接着強度に関する研究, Journal of Textile engineering, 64(2), 51-54 (2018)
- ・薄型断熱材の150℃近傍のふく射熱低減に関する検討, スマートプロセス学会誌, 6(2), 95-101 (2017)
- ・3次元繊維複合材料の有限要素モデリング手法の構築と力学的特性評価, スマートプロセス学会誌, 5(1), 39-45 (2016)
- ・複合材料製寛骨臼サポートコンポーネントのモデリングと骨・インプラント系への影響評価, 日本機械学会論文集, 81(826), 15-0050 (2015)
- ・大型原油タンク火災のふく射熱評価手法の構築, 安全工学, 54(2), 131-138 (2015) 等

主な著書・特許

- ・樹脂/ 繊維複合材料の界面制御・成形加工と評価, 技術情報協会 (2018)
- ・うまくやれる工学のアクティブラーニングOJE, 大阪大学出版会 (2016)
- ・化学工場・研究所の事故・災害対策とリスク管理, 技術情報協会(2015)
- ・解体性接着剤組成物及び被着体の解体方法, 特願2018-32491
- ・地震リスク評価システム, 特開2011-064555
- ・繊維板および緑化材, 特開2009-148950 等

小型自動車の燃料タンク開発に資する研究成果発表会

高圧管を用いたCNG.水素タンクの開発 (LNG/CNG、LH2/CH2適用の液体気体併用タンクの開発) (第1部:総論)

講演スライド

2019年5月17日 大阪科学技術センター

GPI標準化委員会

日本繊維機械学会

発表者: 株式会社NBL研究所

西野義則

辰巳泰我

2019/5/17

1

講演者略歴: 西野義則、辰巳泰我

- 所属: 株式会社NBL研究所

URL:nbl-technovator.com Mail:nishino@nbl-technovator.jp

[Tel:090-9621-3774](tel:090-9621-3774) 〒590-0522大阪府泉南市信達牧野631番地

工博（大阪工大）西野義則: CW成形法、耐食高圧FRP管設計技術開発者、公開論文約250件、出願特許約1000件、中国人民政府からガラス繊維産業世界1位にした外国人功労者賞、インド・日本その他で受賞、AWWA造水プラント・API油井管・日本でGPI油井管標準化、世界最速レーシングヨット（Technovator: 88年オーストラリア一周国際ヨットレース優勝）開発など業績。

博士(工学)(大阪大学) 辰巳泰我: ハイブリッド加工開発、界面化学、高分子化学、ガラス繊維乾式マット成形法開発、GPI油井管用マトリックス標準など。

Mail: tatsumi@nbl-technovator.jp Tel:090-3485-1604

- 公演趣旨: 助成資金により得られた研究開発成果を普及するための技術公開。業界発展に寄与するため、経験する技術成果を公開する。

2019/5/17

2

公開講演会の特徴紹介

- 公開者の実績： 高圧管・容器・継手の設計、製造技術世界一を自負する、API・ASTM・ASME・ISO・適用外のpH2,200℃,100MPa油井管分野に適合するFRP技術を日本で国際標準化、石油ガス採掘分野の発展に寄与している。(社)GPI標準化委員会。
- 従来基準適用外の成形法・設計法・評価法の技術標準を取り扱う。
- 公演はLH2・CH2併用タンク、設計・製造・品質保証プログラム・製造設備の提供まで公開。
- 事前公演情報の公開で当日質問の回答実施サービスを行う。

公演は事前公開のスライド1～3部編成、当日初めて公開する遠心成形法の製造工場設備・運転動画5分がある。

2019/5/17

3

1.1 高圧ガス・液化ガス・ハイドレートガス(水素)

- 特に将来的に水素ステーションへの輸送・貯蔵が想定される高圧ガス、液体水素、有機ハイドライドについて比較を行うと、高圧ガスに比べて液化水素や有機ハイドライドが貯蔵性に優れることが分かる。
- 他方で、液化水素の総合的なエネルギー効率は現時点では高いものではなく、有機ハイドライドについても、現段階で小型の脱水素が実用化していないため、将来に向けて技術開発等を行っていく必要がある。

各水素キャリアの貯蔵密度の比較



水素ステーション供給時の各水素キャリアの比較

	高圧ガス	液化水素	メチルシクロヘキサン
エネルギー効率 (※1)	2015 52%	(※3)	(※4)
	2030 54.7%	55.7%	52.1%
CO2 排出量 (※2)	2015 1.87	(※3)	(※4)
	2030 1.70	1.16	1.72

(※1) チェーン全体(採掘・輸送・精製からステーションでの充填まで)の効率
 (※2) チェーン全体(単位: kg-CO₂/m³-H₂)
 (※3) 技術的には実用化段階だが、2015年断面では水素ステーションの稼働率が低水準にとどまるため、ボイルオフによるエネルギーロスが多数発生。
 (※4) 水素ステーションで脱水素できるよう、脱水素装置の小型化が必要。
 [出典] NEDO「水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ」(平成20年度)

25

LH2(-253℃)併用 CH2(70MPa)、小型車載&ガスキャリアタンク
 新開発：イメージ写真併用水素ガスキャリア(40フィートコンテナ)



ガスキャリア：H₂入力、CH₂出力機能
 (ステーション機能付)
 車載タンク：LH₂、CH₂給入併用機能

メチルシクロヘキサン



ケミカルローリー

1万m³/台

2019/5/17

著名な公開資料から抜粋

4

1.2 液体・気体ガスの物性とタンク条件(水素)

水素ガスキャリア比較	液体水素 (LH ₂)	70MPa (液体) 併用 (CH ₂ /LH ₂)	ハイドライド水素 (HH ₂)	35MPa (CH ₂)
タンク設計圧力(MPa)	0.3	210	0.3	105
タンク(L) * 収納数	単一タンク	180 * 4 * 6 * 7	単一タンク	複数連結タンク
タンク自重(ton)	-	16	-	-
水素ガス圧縮倍率	800	700(800)	500	350
収納密度(kg/m ³)	70	56(70)	44	38
温度(°C)	-253	-253~常温	25	25
トレーラトラックタンク(m ³)	30	30(26)	20	12.5
収納水素ガス量(kg/台)	2100	1800	500	70
2019/5/17 キャリア	専用タンクローリー	NBL40フィートコンテナ	専用タンクローリー	専用タンクローリー ₅

1.3 公開情報の試作タンク性能比較例

小型車載タンク比較	T社(FW成形)	NBL(CW成形)	S社(FW成形)
適用	高圧水素	液体水素・高圧水素併用	高圧水素
設計圧(破壊)	140MPa	210MPa	140MPa
タンク材質	CRP+GRP	外:CRP、内:SUS316L	CRP
(G:Glass C:Carbon)	PA+EPO	VE樹脂	アルミ+EPO
タンク自重(計算値)	44kg	37kg(2重タンク50kg)	219kg
タンク体積	60L	80L(64L)	110L
容積あたり重量	0.73kg/L	0.46kg/L(0.78kg/L)	2kg/L
材料費(CFR: ¥1500,SUS¥700)	¥1200/L	¥1500/L(¥1300/L)	¥1300/L
収納ガス量	3.4kg	4.5kg	6.2kg
2019/5/17 収納ガス当たりの材料費 (¥/L)	876	1014	2600

1.4 最重要:なぜ、性能に差が出る(FWとCW成形法)

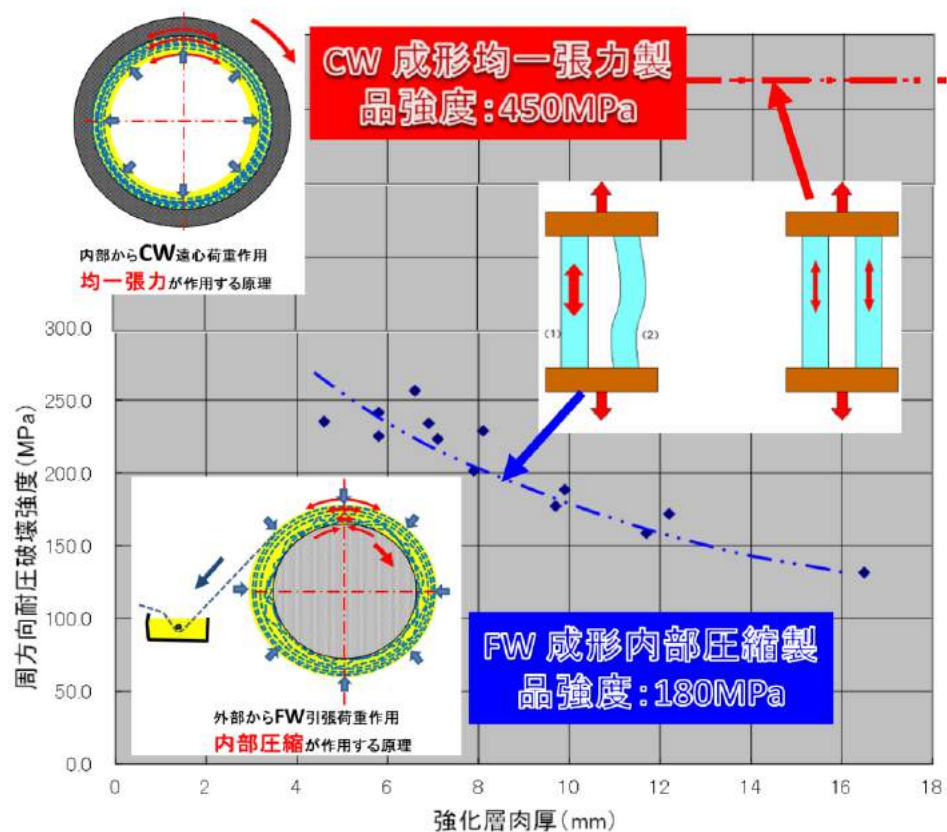
品質(2倍の強度): 均一テンションの繊維配向が原因、公開製品強度をFW/CW比較すれば同一材料で強度はCWが2倍

参考文献: 下左近峻志, 田村進一, 西野義則: Products strength comparison between Filament Winding (FW) and Centrifugal Winding (CW) high pressure pipes for oil well, グローバル経営学会, GPI Journal Vol1 2015, pp.167, 2015

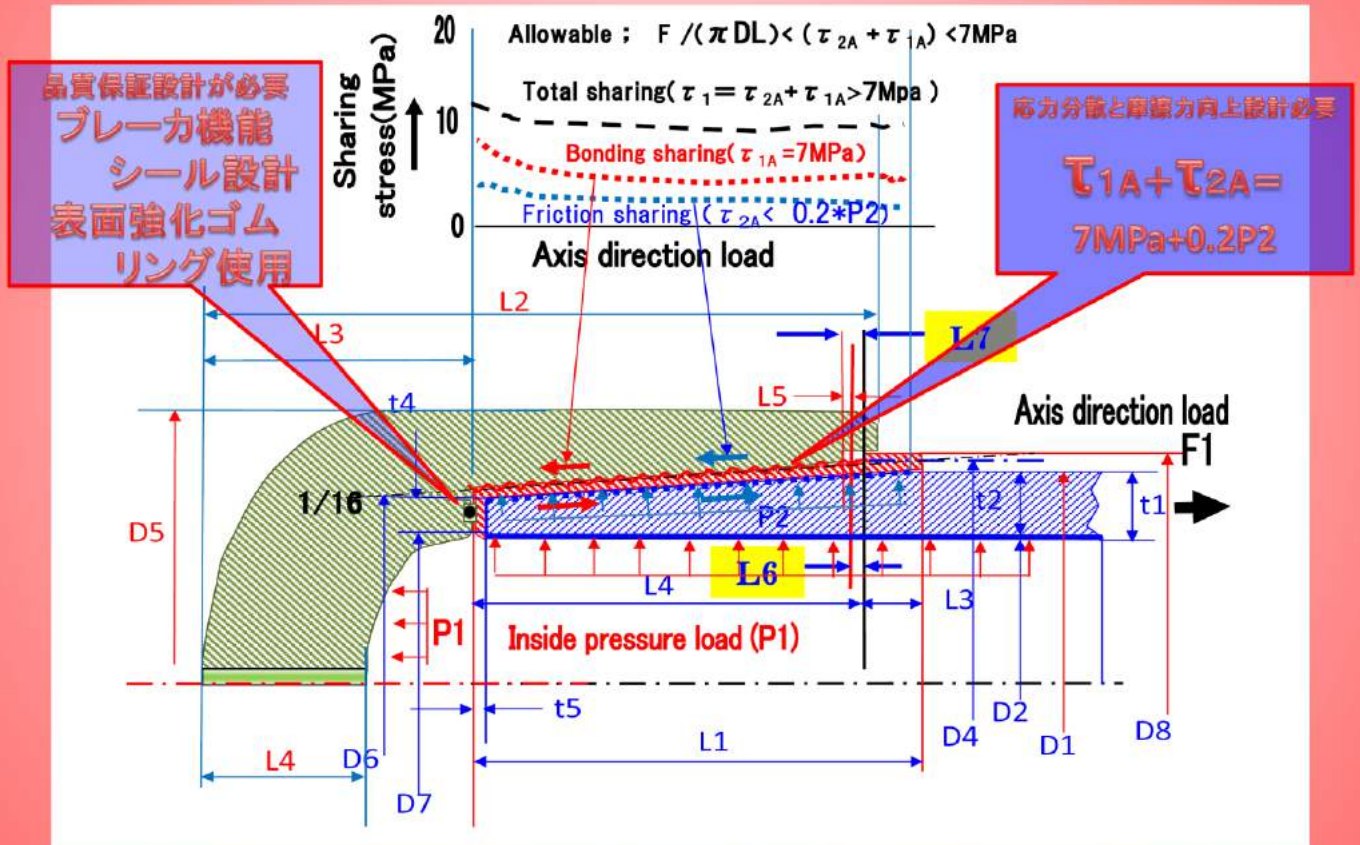
品質(100倍のガス透過性能): CW/FW、脱泡率は100倍以上、積層樹脂透過性能100倍以上。

生産性(100倍): FW法は巻き速度1g以下で生産。CW法は100g以上で生産。すなわち100倍以上の生産性。

2019/5/17

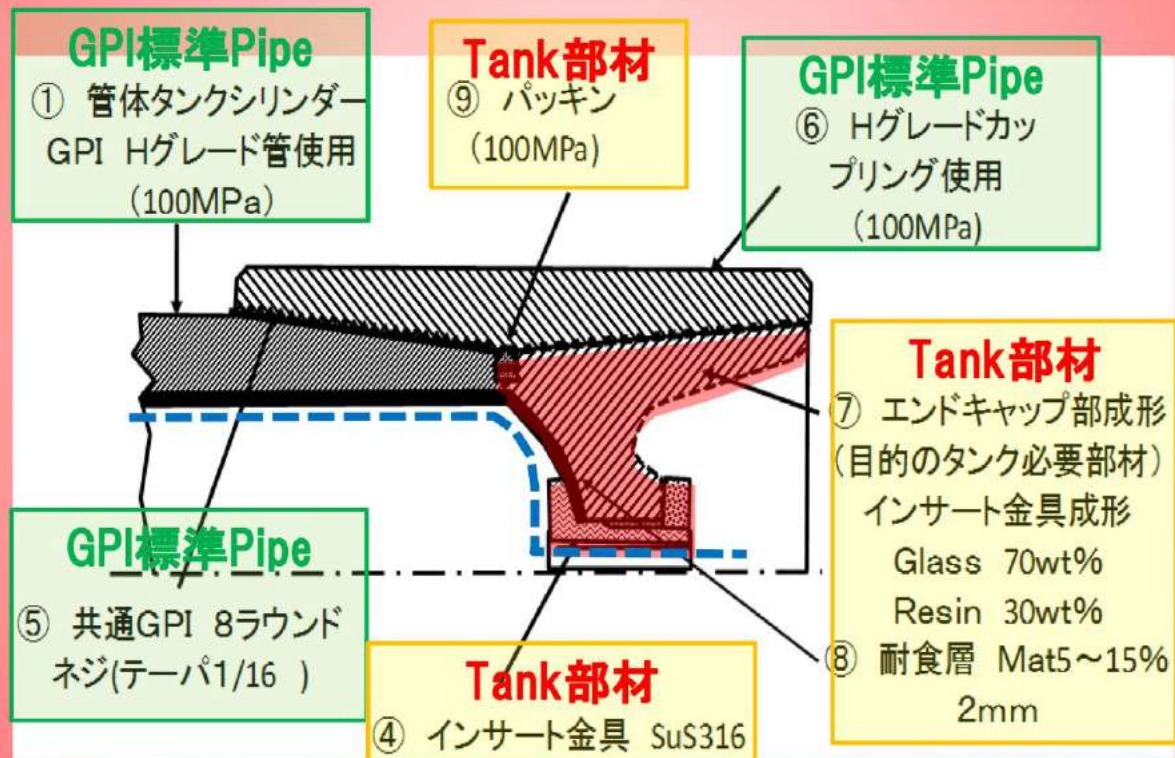


1.5 最重要: 非連続部(継手)は応力分散とブレーカ構造必要 液化低温ガス容器収納はタンク開閉構造必要



1.6 最重要:量産化の構造設計必要

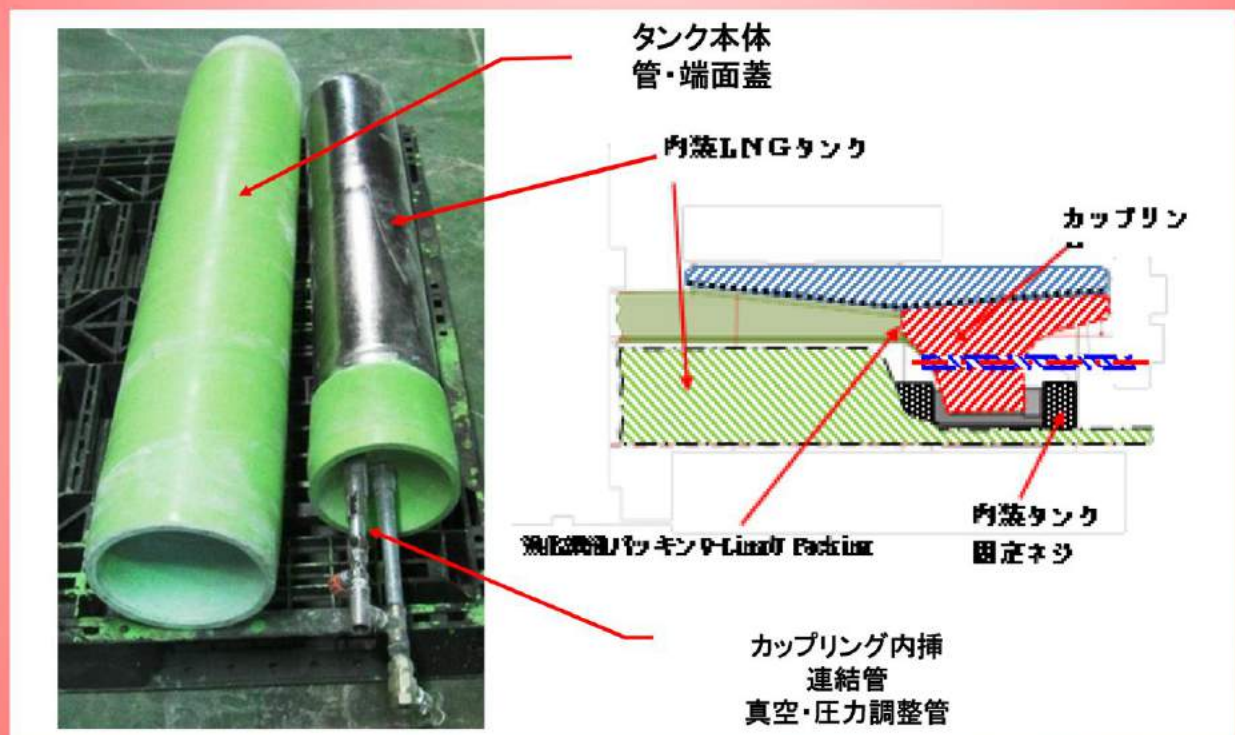
GPIタンク標準はGPI標準管+
(CHG:⑦⑨+④+LH2:液化ガス収納真空断熱瓶内装)



2019/5/17

9

1.7 試作した二刀流液体気体ガスタンク



2019/5/17

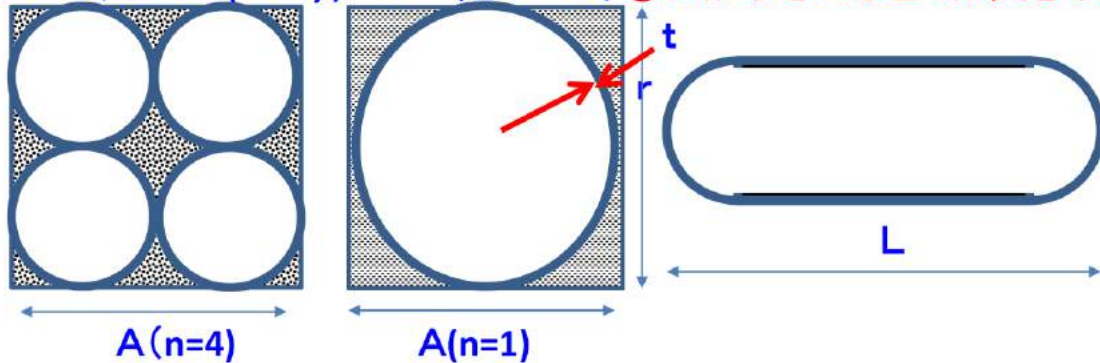
10

1.8理論値：軽いタンクの最大容量(①②③④)

高圧タンクの最大容積：①径に無関係で1定 体積V、半径r、(一定時：長L、一辺A)

$$V \approx 0.8V_a = 0.8 \cdot A \cdot A \cdot L, V = \pi r(4/3 \cdot r^2 + (L - 2 \cdot r) \cdot r)$$

ここで、 $A = 2 \cdot (r + t)$, $\therefore$ 一定： $r + t$ 、② t が小さいほどVが大きくなる。



③高圧タンクの自重は径が小さい方が軽い自重W、管厚t、圧力P、応力 σ 、タンク数n

$$W = \pi \cdot t \cdot M \cdot r(2L + 4r) = f(t \cdot r), t = P \cdot r / \sigma = f(r),$$

ここで、 $\therefore$ 一定： $A = n(r + t)$ 、 $W = f(r)$ 、④ n が大きいほどWが小さくなる。

$\therefore$ 最適値 n4自動車L135, A39cm: 水素ガス用78L, $r = 7\text{cm}$ 、CNG用102L, $r = 8\text{cm}$

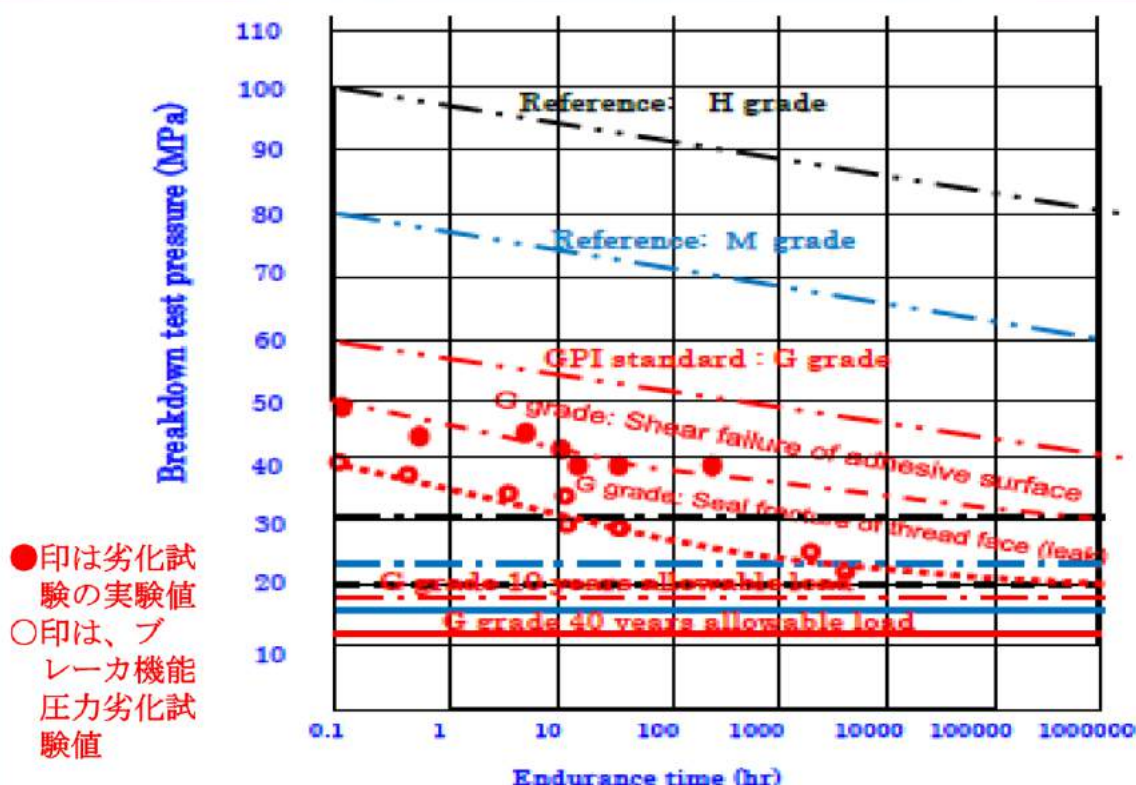
1.9 GPI標準継手の理論特性：D1=80mm、P1>80MPa (ブレーカ)設計耐圧P1と管厚t・管径D・接着長さL1の関係

P1 Max (Mpa)							Parameter: D1, t, L1 (mm)
	D1	80	120	160	200	240	
t PO (Mpa)	8	95	63	47	38	32	Assumption: The coupling is twice the thickness of the pipe thickness, the compressive strength is 70% of the tensile, the circumferential tension is 450 MPa Permissible seal pressure: $P \leq 1.5$ (100 MPa allowable stress)
	12	120	95	71	57	47	
	16	189	126	95	76	63	
	20	236	158	118	95	79	
	24	284	189	142	113	95	
	28	331	221	165	132	110	
t $\mu = 0.2$ τ	8	26	20	16	15	13	Assumption: The phase friction coefficient is 0.2, the axial shear stress is the resultant force of the adhesive shear force 7 MPa, the axial shear stress τ (Mpa)
	12	31	26	21	18	16	
	16	45	32	26	22	20	
	20	54	39	31	26	23	
	24	64	45	35	30	26	
	28	73	51	40	33	29	
t L1=100 Pmax	8	130	65	41	29	22	Parameter: pipe thickness and adhesive length added maximum internal pressure, (MPa) Design pressure resistance 100 MPa Applicable indication of pipe diameter 80 to 200 mm is in red
	12	155	86	53	37	27	
	16	224	107	65	44	33	
	20	271	128	77	52	38	
	24	319	149	88	59	43	
	28	366	170	100	67	48	
t L1=150 Pmax	8	194	98	62	44	33	
	12	233	130	79	55	41	
	16	336	161	97	66	49	
	20	407	193	115	78	57	
	24	478	224	133	89	65	
	28	549	256	150	100	73	
t L1=200 Pmax	8	259	131	82	58	44	
	12	310	173	106	73	55	
	16	448	215	130	88	65	
	20	543	257	153	104	76	
	24	637	299	177	119	86	
	28	732	341	200	134	97	

1.10 GPI標準管の劣化特性(40年20%):

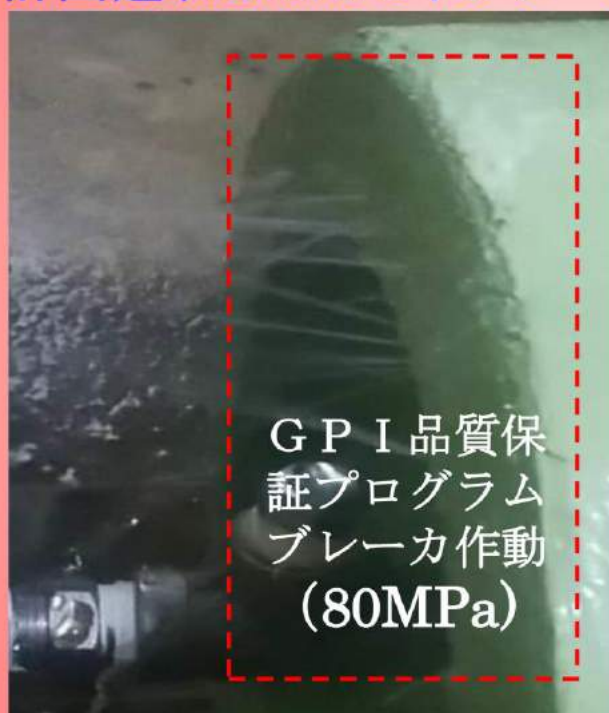
LNG/CNG必要ブレーカ60MPa(H grade設計耐圧100MPa)、

LH2/CH2必要ブレーカ80MPa(H grade120MPa設計耐圧必要)



1.11 LNG・CNG併用タンク80MPa試験

- 計画通り80MPaでネジシール部パッキン作動リーク

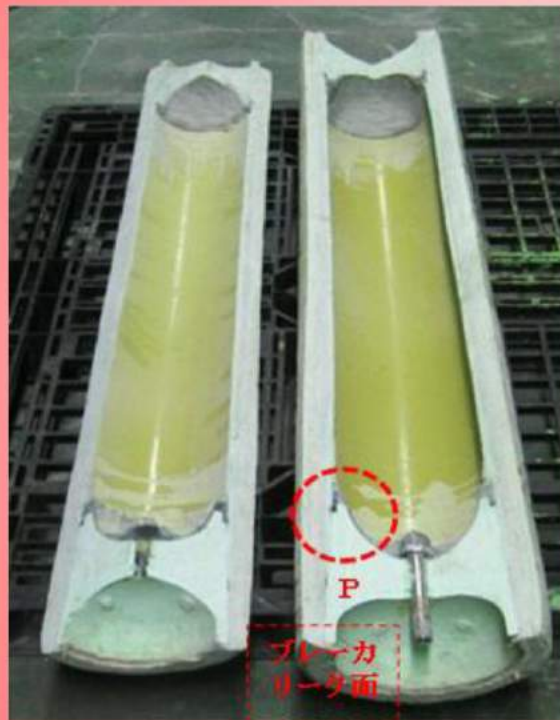


GPI品質保証プログラムブレーカ作動確認 (80MPaブレーカ)



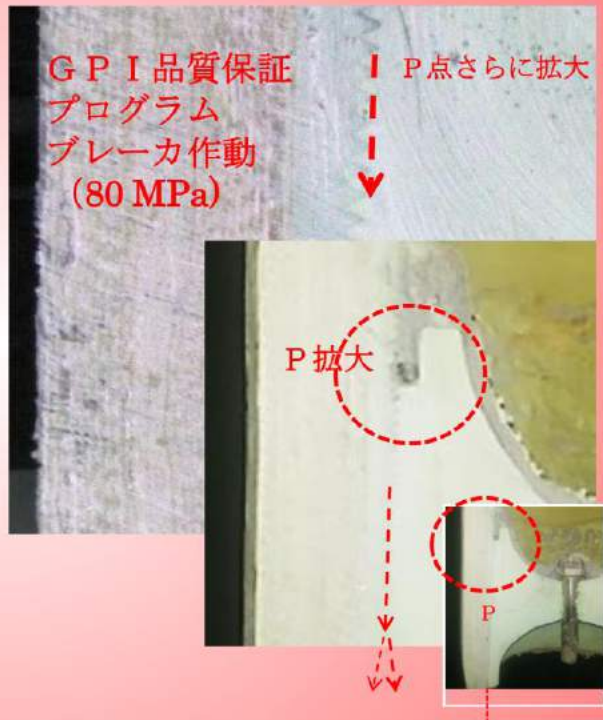
計画通り試験メータ80MPaでシールパッキン部リークからリーク

1.12 試験結果の詳細確認: ブレーカ機能後シールリングの切開検査



破壊タンクの切開破損確認

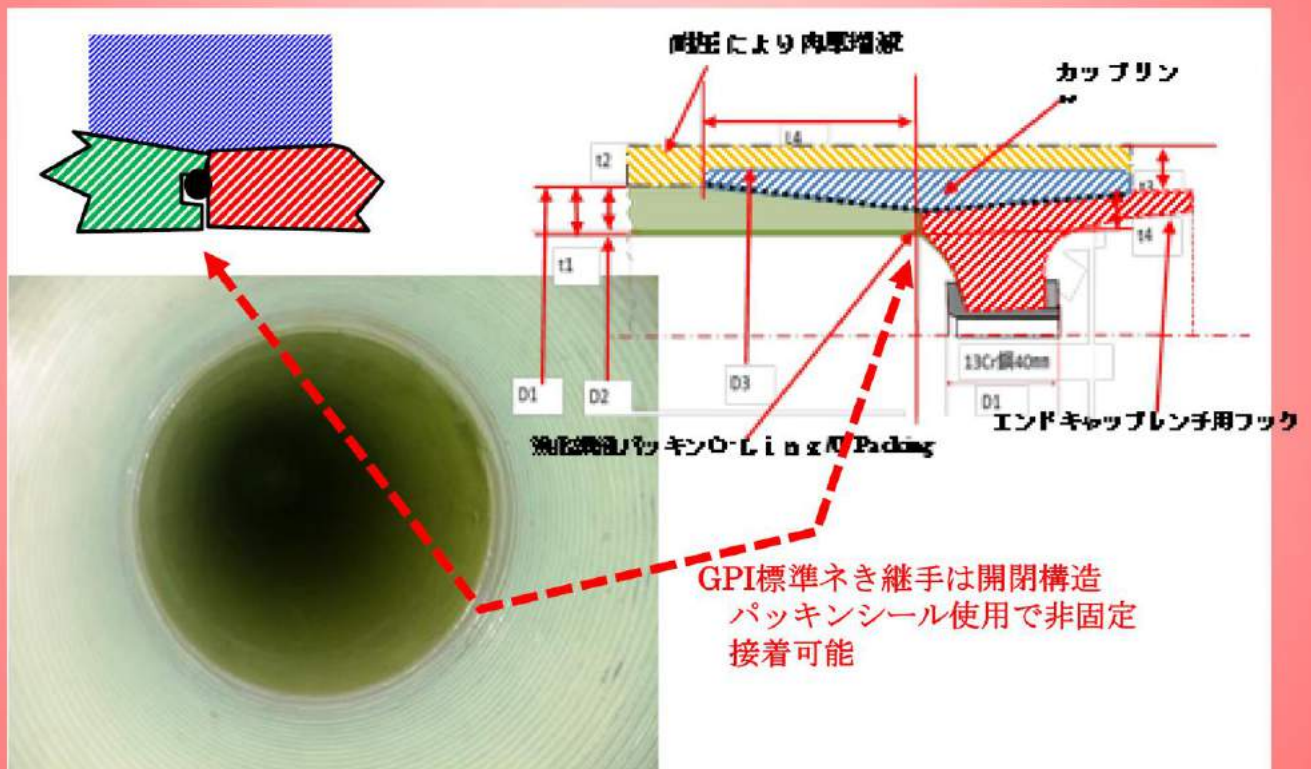
2019/5/17



ブレーカ作動の無破壊切開拡大写真

15

1.13 試作試験タンクの基本構造端面継手は組立解放可能(内装超低温容器収納可能構造)



2019/5/17

16

1.14 試作・耐圧試験したタンク

左：ブレーカ機能試験：表面強化のゴムリング
パッキン使用必要



2019/5/17

中央： 内装ステンレス収納、空間に有機繊維糸
を用いて、真空断熱、圧力自動調整必要

1.15 試作したLNG・CNG併用タンク (LH2・CH2同類)



FRPタンクは常温で
120MPa設計圧（L N
G 常温ガス化約60MPa,
- 100℃で2.5 MPa).
SUS316内装タンクは
設計圧8MPa、中間層
80MPaブレーカシール
付でL N G・CNG併用
するタンク。



2019/5/17

小型自動車の燃料タンク開発に資する研究成果発表会 高圧管を用いたCNG.水素タンクの開発 (LNG/CNG、LH2/CH2液体気体併用タンク)

(第2部:現状FWタンクと開発CWタンクの基本的相違点)

講演スライド

2019年5月17日 大阪科学技術センター

GPI標準化委員会

日本繊維機械学会

発表者: 株式会社NBL研究所

西野義則

辰巳泰我

1

2.1 提案:液体気体併用水素ステーションのCWタンク (CNG/LNGタンクの開発事例と品質保証プログラムの有効性)



- 平成28年度新技術開発財団の助成の”高圧管を用いたLNG/CNG 併用タンクの研究成果”。
- 必要最大80MPa漏水設計圧(LNG・CNG併用時の必要圧)どうりの試作性能確認。
- 2重タンクのFRPタンク継手ブレーカ設定圧でのタンク破壊は生じない。(CNG使用タンク圧40MPa)



写真1: 液化・高圧ガス併用2重タンクの組立 写真2: 80MPaブレーカ性能試験結果と試験後のタンク切開検査の異常なしの確認

2.2 提案: 液体気体併用のCWタンク展開例 (車載LNG・LH2タンクのGPI標準品質保証プログラム)

- ・ ブレーカ必要耐圧は、図7に示すパッキンの機能設計で定められる。
- ・ 図5は対応ブレーカ圧と組み合わせ選択材料の試験結果を示す。
- ・ 図8はステンレス内装タンクに糸状のセパレータを巻いてFRP高圧タンク内収納状態を切開して詳細構造を示す。

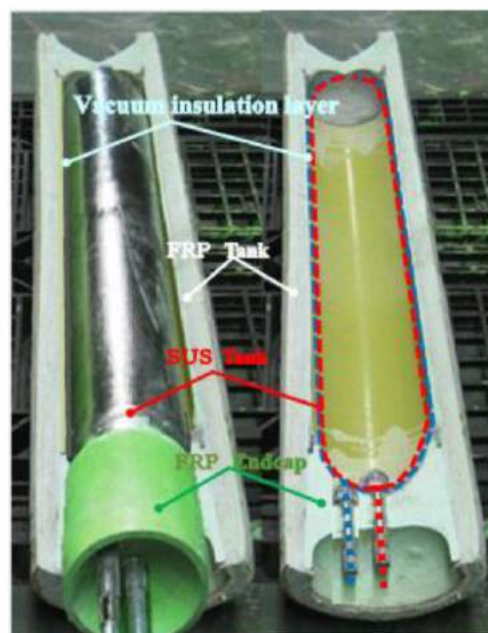
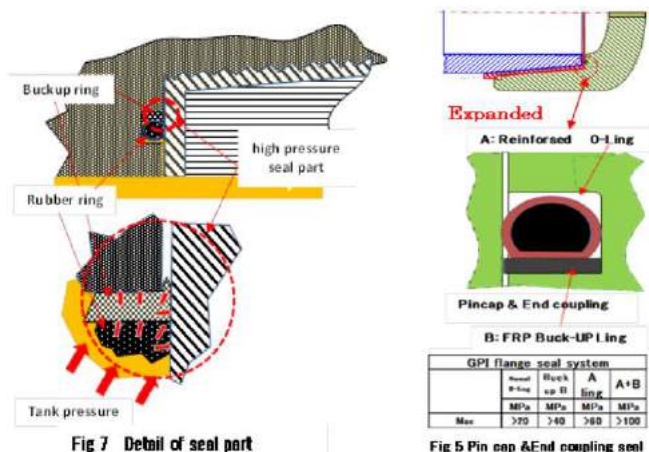


Fig 8 Incision picture of Tank

2.3 提案: 容器の断熱性能は十分保持されている必要性 (断熱性能表示の明確化が必要な事例)

NEDO プロジェクト公開資料で明らかな、LH2タンクと当社が開発したLNGタンクの必要性能は、表1に示す従来の断熱性能、20Kと113Kの異なりがある。図11、12に示す構造で、超高断熱化技術(パナソニック社)の最高品質断熱材を使用すれば、結論として報告書には100℃の沸騰水を一か月後に1度低下させるまで断熱性能が得られたとの記載。その構造は図11でステンレスタンクに真空断熱積層である。

NBLが開発した断熱構造は、①熱伝導が限りなくゼロで、②構成材料がGFRPからなるため、少なくとも基本条件から、断熱性能は10倍以上となる。

なお、NBL開発はLH2タンク素材は同じステンレスを用いるが、FRP製の超高压ケーシングタンクを用いるため、理論最適タンク径は約160mmであり、大径の大型のタンク構造を持たない。したがって、真空断熱構造はシンプルな魔法瓶同様な構造で、真空層にシリカやガラス繊維充填はない。

表2 複合材の特性比較

材質	密度 (g/cm ³)	引張強度 (MPa)	熱伝導率 (W/m K)
GFRP	1.9	300	1
CFRP	1.6	1200	10
ステンレス鋼	8.6	600	12
アルミ合金	2.7	300	120



水素エネルギーシステム Vol.31, No.2 (2006)

NEDO projects WE-NET('93-'07)

表1 液化ガスの物性値

項目	LH ₂	LNG(平均)
化学式(分子式)	H ₂	CH ₄ (84)
沸点(K/℃)	20.3(-253)	112(-161)
飽和蒸気圧(kg/cm ²)	58.8	442.5
密度(kg/L)(kg/m ³)	31.4(31.4)	225.9(225.9)
低位発熱量(kJ/kg)(kJ/m ³)	8.50(8.50)	22.1(22.1)
カノーラ数(W/m)	13.3	1.80
最小断熱化仕様(W/L/hr)	12.0(12.0)	1.80(1.80)
最小断熱化仕様(断熱性能)	10	2.2
断熱正効率(%)	1	0.61

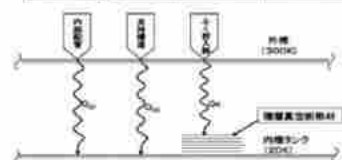


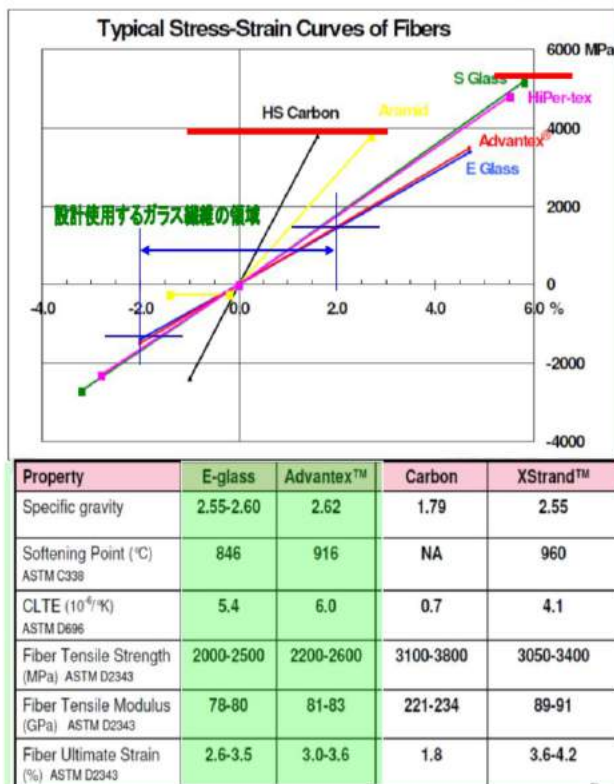
図11: 内層への入熱のイメージ



図12: 積層真空断熱材の施工状況

2.4 提案: FRP強度性能はNEDO報告書(表2)は確認必要 (強化繊維は有効利用強度が成形法で異なるのが複合材、 評価は理論強度に対する有効率で行う、通常80%以上必要)

CW成形の一般使用するガラス繊維は伸度2%最低1500MPaで周方破断強度(周対軸2:1)は約550MPa。(出典元はOC社)
水素タンクは伸度6%5000MPaのS-Glassが適する。カーボン繊維より強く、55%Vol成形であれば周方向破断強度は1833MPaとなる。さらに、金属の応力腐食割れがなく、品質保証プログラムを採用すれば有効使用応力範囲が拡大する。



2.5 提案: 液化・高圧水素ガスステーションCWタンク応用 (安全性・耐久性から等圧ガスステーション提案、保持媒体アルゴンの推奨)

- 1、基本は供給するタンクローリ、ステーション貯蔵タンク、チャージされる車載タンクの圧力を同じにすることで、タンク容積を変動させることで貯蔵ガスが移動する原理です。
- 2、CH₂の場合は水充填法が簡単、CH₂タンクの圧力とローリタンク圧力を同じにするため緑色配管弁を開閉して同圧にします。入荷はローリへの注水量を増加して貯蔵タンク内を排水すれば、CH₂は移動します。
- 3、LH₂の場合は同様に等圧にして、落差注入法または超低温のポンプによる注入を行います。
- 4、定圧を保つ最適の媒体を発見、実証研究中。LH₂・CH₂併用できる定圧保持機能の容積移動しない機能媒体がアルゴンです。相図に示す70~80MPa領域で沸点を持ち、ガス密度が重く不活性体です。技術確立すれば、増圧・注入ポンプ機能がCH₂/LH₂併用でも不要となる革命的な効果期待できる。

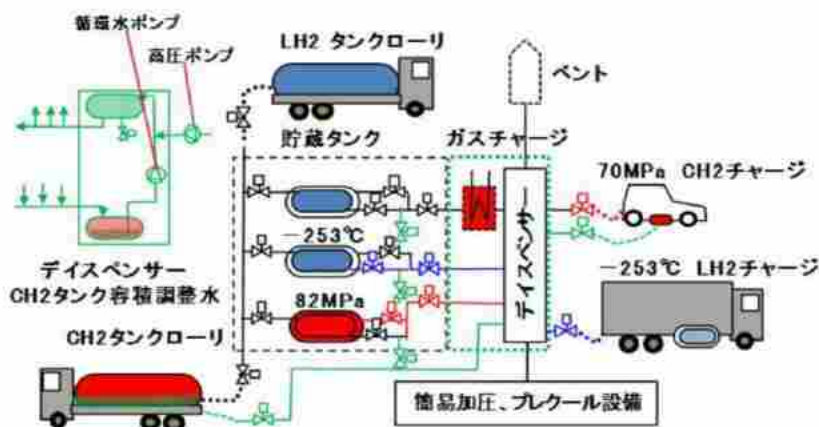
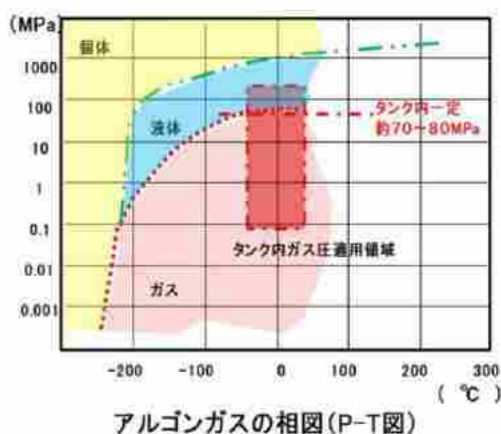


図3: 液化水素・高圧水素ガス ステーションの概要

2.6 提案: 液化水素・高圧水素ガスステーション (LH2のガス化昇圧充填圧力、充填量の制御法)

図に示す提案ガスステーションは機械的な昇圧など設備を必要としません。LH2タンクの保冷性能が非常に高く、CH2タンクチャージに生じる冷却熱利用がテーマとなります。

- 1、CH2の充填量の計量と制御は、注水による容積変化法を用いる。注水量とガス圧の情報からチャージ量を算出し、さらに満タン表示検出は規定圧で排水完了して満タンと定義します。なお、規定量のチャージの設定は計量水量でガスチャージ弁を閉じ、排水して完了とします。排水量はドレントラップ自動作動で完了とします。
- 2、LH2の場合は、流量計による計量と流量停止で満タン表示とします。
- 3、アルゴン使用の場合は、流量と圧力情報による計量・制御を行います。
- 4、提案ステーションの基本的な考え方には、ガス化での昇圧機能は不要です。ただし、プラントメンテナンス、予定外の機能機材としてガスを扱うための必要機材としてライン外に小規模を持つ。

2.7 提案: LH2搬送時クールダウンやボイルオフガスの処理 (LH2/CH2併用CWタンクの機能設計)

- 1、LH2コンテナキャリアーは、基本的に目的期間にクールダウンしない高い断熱性を持つタンクです。推定、20Kのタンク内温度が21Kとなる時間は、1か月程度必要な性能を必要とします。
- 2、タンクは2重構造で内装タンクが超低温ステンレス容器で通常のLH2容器、その容器を収納する外にCH2超高圧GFRPタンク構造、真空断熱されている。LH2温度上昇に伴うボイルオフで内装タンク破裂防止には真空断熱層に自動的にCH2が流入する設計となっている。
- 3、このタンクは、輸送容器と貯蔵容器として利用でき、LH2・CH2併用です。
- 4、普及のためには、設備・メンテナンスコストダウン、すべて共通仕様・部材構成にして組立式の設計で、部材はCW成形法で量産化を可能にしてメンテナンスも工場で実施する設計とする。
さらに、製品は容積変化注水タンク機能やアルゴン封入による定圧機能、輸送や貯蔵容器機能やガスステーション設備とマッチングする機能に対応できる機能特徴を持たせる。

2.8 解説:この道50年から研究者に問題提起

プロとアマのあってはならない境界問題、例えば、

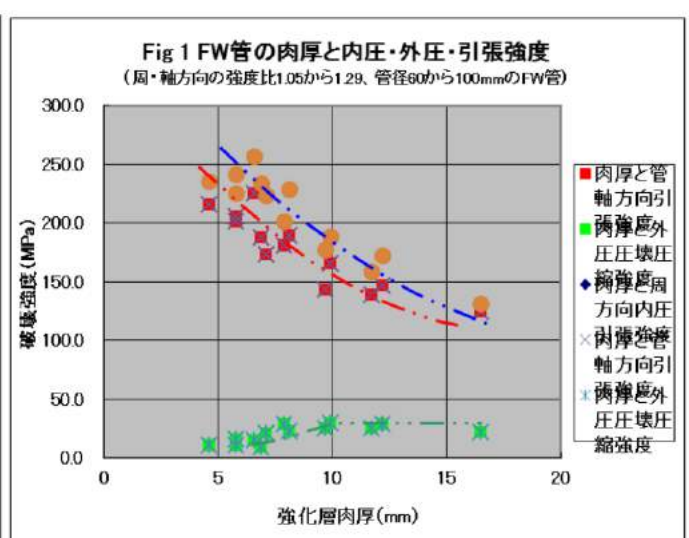
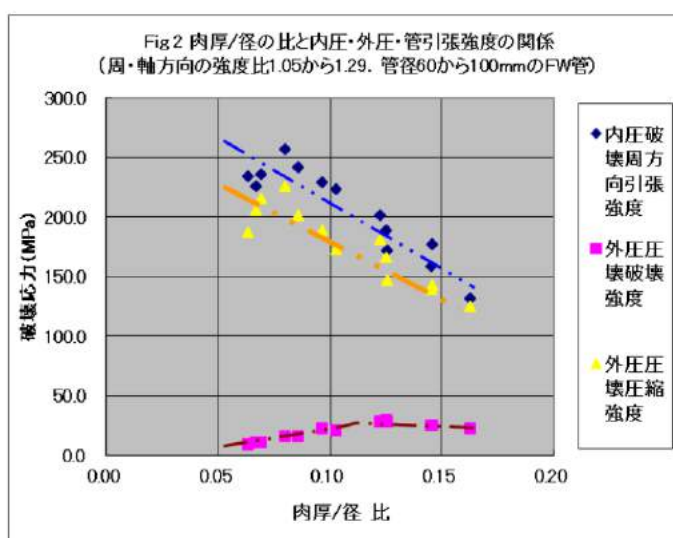
- ① 物性挙動関係の研究論文(カーボンFW成形品の強度評価)に、有効繊維強化率が理論強度の50%以下で論評(土俵外の相撲)
- ② 積層間接着強度の挙動研究に、せん断応力緩和条件が最重要で肉厚の有効接着長さは8~10倍を無視(常識外の研究)
- ③ 耐久性評価はマトリックス材の亀裂進行が基本(無視)
- ④ マトリックス材にも分子複合則があることなど(軽視)

これらは、複合材の基本である理論強度に対する有効強化率80%以上となる成形条件下での特性評価が対象になること、信頼性・耐久性は多くの実績からAWWA、ASTMなど標準化され普及していることを基本とした過去の実績に新技術を積み重ねる必要がある。

“複合材料の信頼性・耐久性論理の再構築の必要性”

2.9 解説:知っていますか、この現実例

(FW成形はCW成形の50%強度、これは複合材料が共に機能劣化せず複合効果を出すのが基本論理。すなわち、構造問題で成形法が影響する。)



有効強化繊維率の重要な意味の例

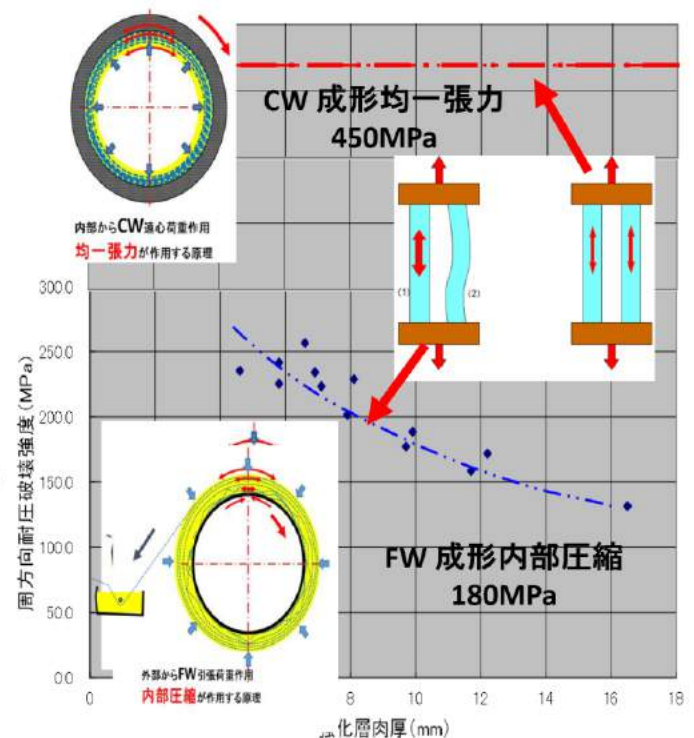
2.10 解説:FW法とCW法の品質・生産性比較

品質(2倍の強度): 均一テンションの繊維配向が困難(FW成形法) 公開製品強度の比較から同一材料で強度は2倍(CW成形法)

参考文献: 下左近峻志, 田村進一, 西野義則:
Products strength comparison between Filament Winding (FW) and Centrifugal Winding (CW) high pressure pipes for oil well, グローバル経営学会, GPI Journal Vol1 2015, pp.167, 2015

品質(100倍のガス透過性能):
CW/FW、脱泡率は100倍以上、次項
詳細: 積層樹脂透過性能100倍以上。

生産性(100倍): FW法は巻き速度1g以下で軸方向・次いで周方向FW(約1時間)の後加熱炉硬化2時間、CWは加熱型内で100g内巻(20秒)硬化8分で脱型



11

2.11 解説: NBL社のCW成形法生産プラント例 (現有する世界最速: 2分に1本の生産ライン構築成功)

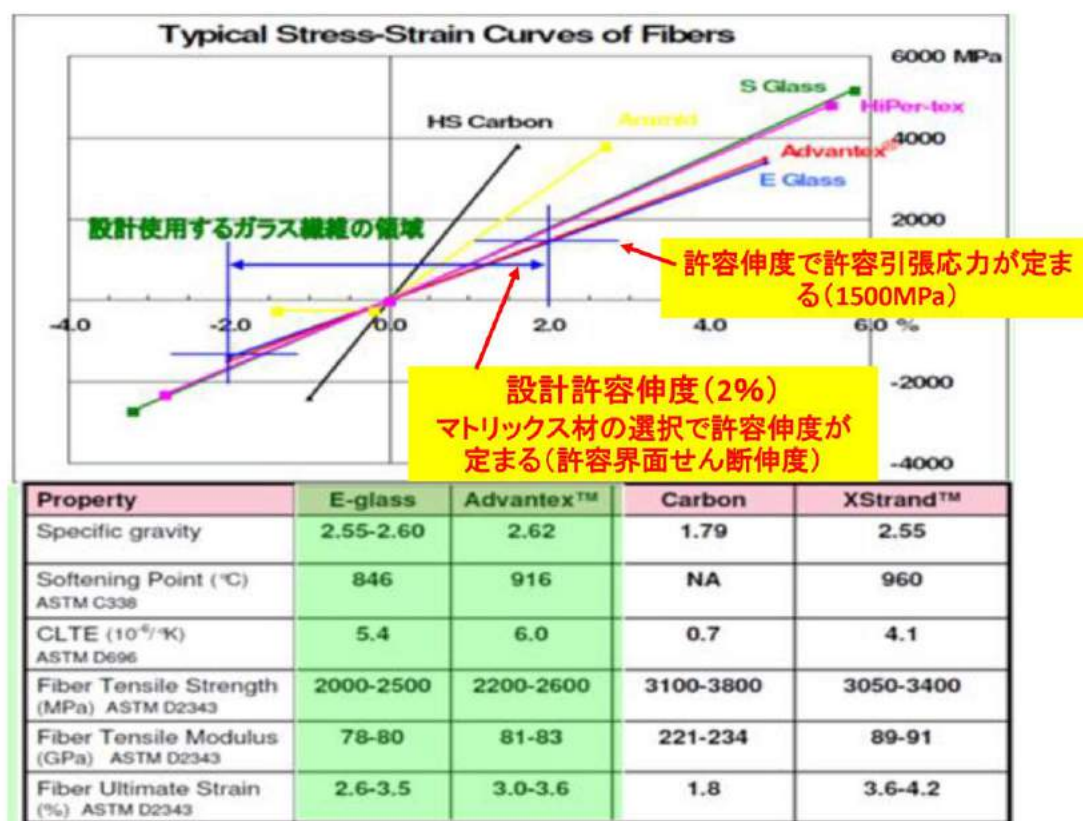


遠心 casting でガラス繊維、樹脂を容器内で展開。
2次加工は、端面加工・継手接着、品質検査(内圧負荷試験)、梱包。



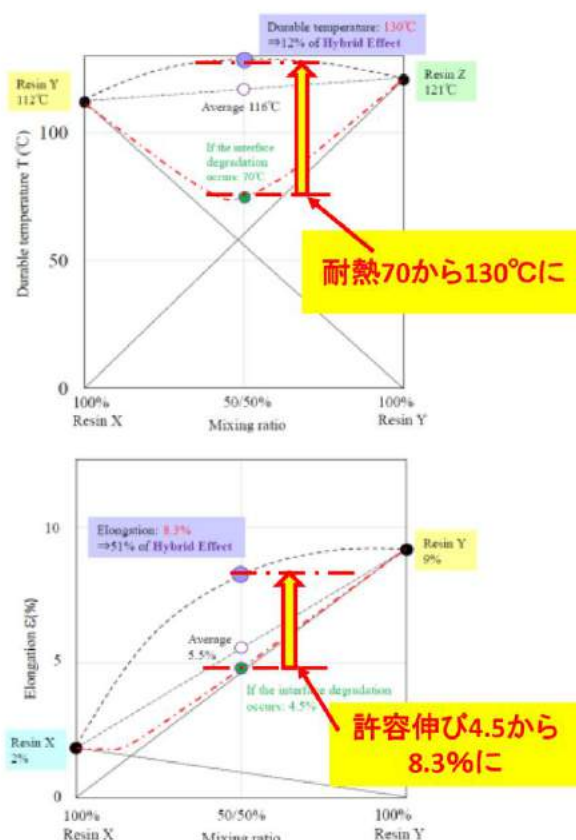
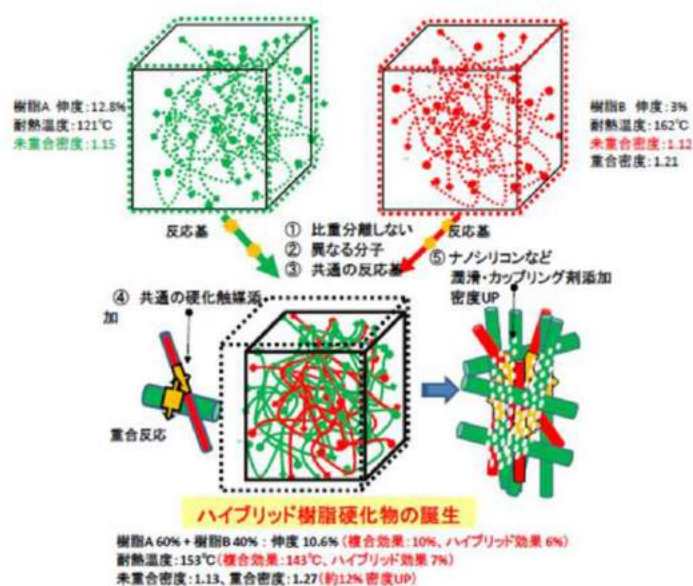
12

2.12 解説: GPI標準が適用するガラス繊維の領域 (一方向E-Glass: $\pm 2\%$ 許容伸び、1500MPa破断強度)



13

2.13 解説: GPI標準、樹脂のハイブリッド加工 (樹脂複合で耐熱・許容伸びの相与効果が生じるハイブリッド加工)



14

小型自動車の燃料タンク開発に資する研究成果発表会 高圧管を用いたCNG.水素タンクの開発 (LNG/CNG、LH2/CH2液体気体併用タンク)

(第3部: 高圧技術GPI標準化の解説)

最新の未公開GPI品質保証プログラム (100MPa管継手標準設計法を例に解説)

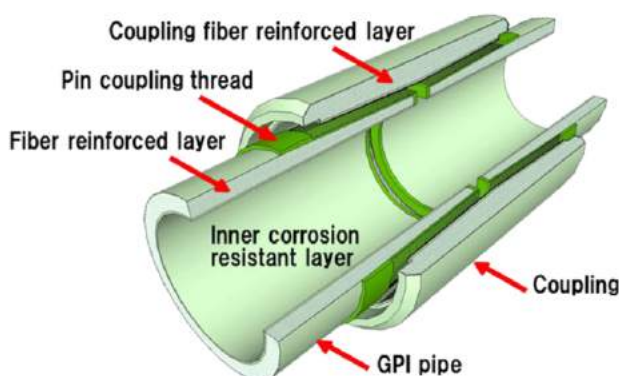
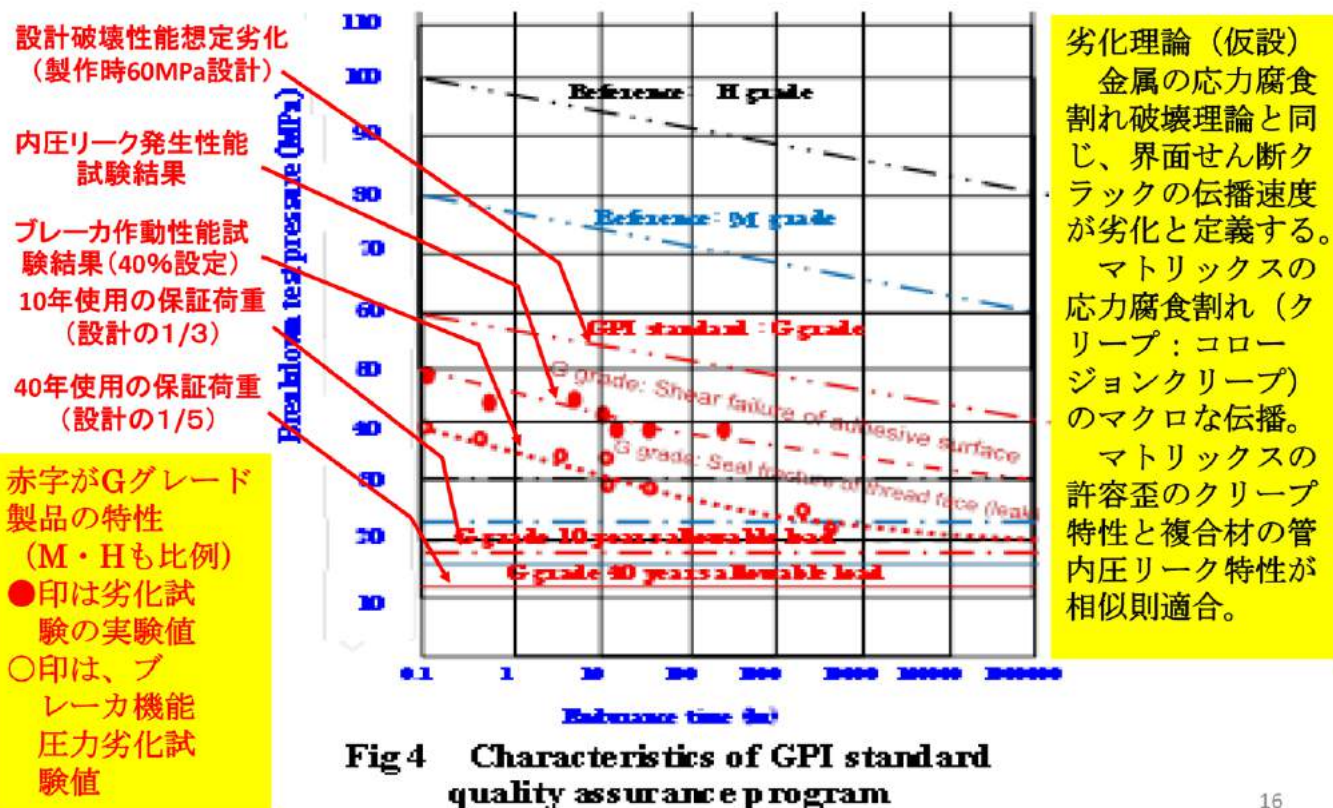


Fig 1 GPI Standard coupling structure

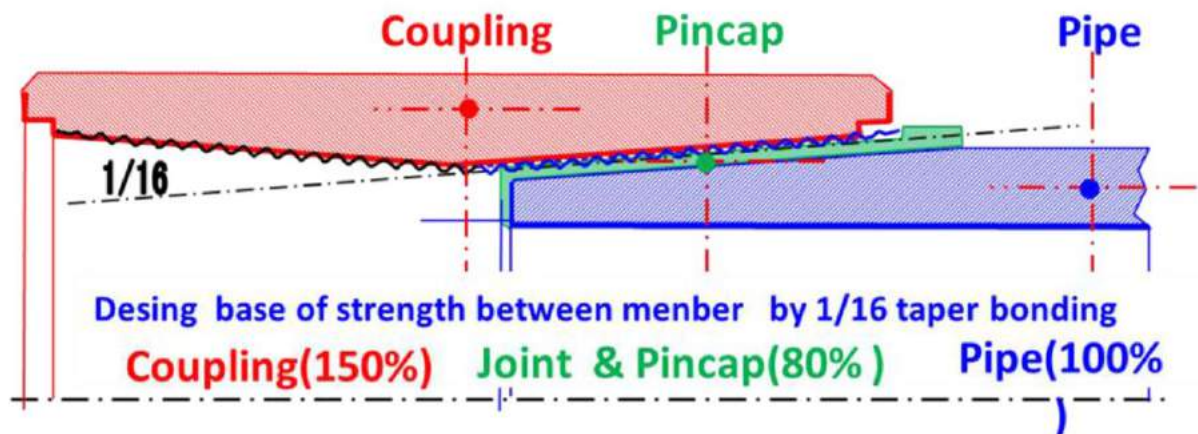
15

3.1 解説: GPI標準高圧管の性能劣化特性 荷重と劣化時間(試験結果: 一律平均40年で約20%劣化)



16

3.2 解説: 品質保証プログラムの基本ブレーカ機能 (シール面漏水機能設計に必要な構造強度の仮設定150:100:80比)



3.3 解説: 設計に必要な継手に作用する基本荷重 (応力緩和の設計: RTC8継手理論根拠)

RTC8:
1/16 テーパーは応力集中緩和の条件

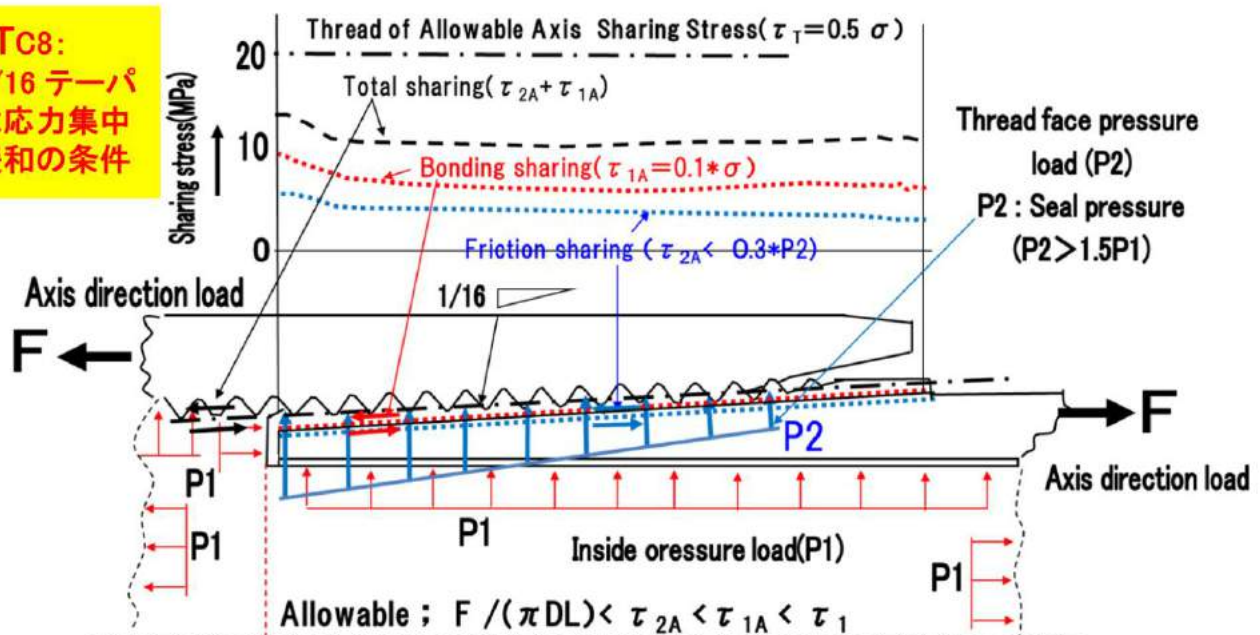
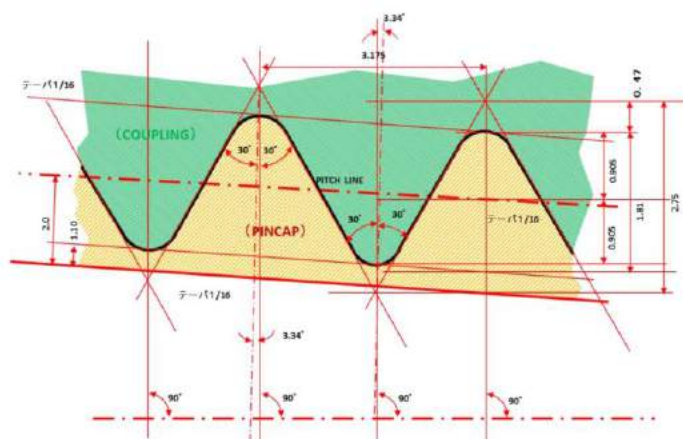


Fig 2 GPI Desing Base of Cupling Joint

3.4 解説: GPI標準のネジ詳細 (一般ネジ: RTC8詳細、バットレスネジ: BTC5詳細)

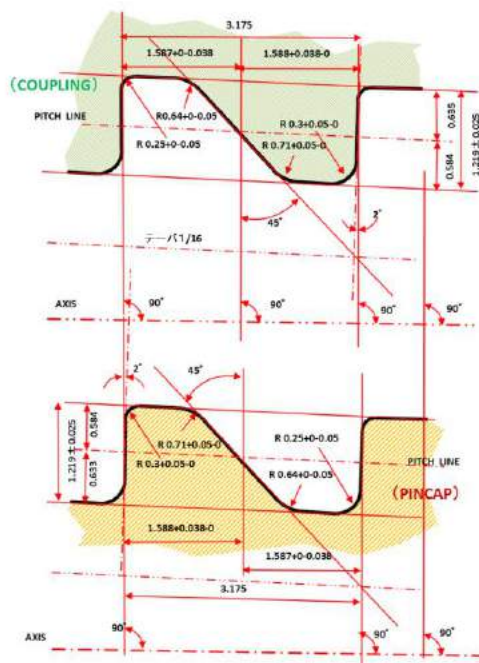


GPI Tubing & Line Pipe Joint of Round Screw
(Standard Type with RTC8/inch)

RTC8: 丸頭形状、テーパ1/16、インチ8山(ラウンド)
ネジ面シール

特徴: ネジ面シール機能を持つ、シール理論適用で、
許容シール圧は内圧の1.5倍以上必要。

BTC5: 台形ネジ、用途はケーシング管などで、ここでは
割愛。



GPI Casing Joint of Full Flush Buttress Screw
(Integral Type with BTC5/inch)

19

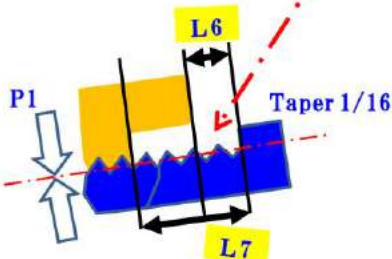
3.5 解説: 品質保証プログラム、施工管理 (ネジシール圧の設定が目視できるGPIカップリング)



Necessary tightening amount (strain amount
about 1%, P1 make up pressure)

$(L7-L6)/16$

GPI standard varies
depending on the size
of the diameter, an
average of L6 is
visually about 3
threads remaining in
the G grade (60MPa),
2 threads in M grade
(80MPa), the work of
H grade (100MPa) in 1
threads is the
standard.

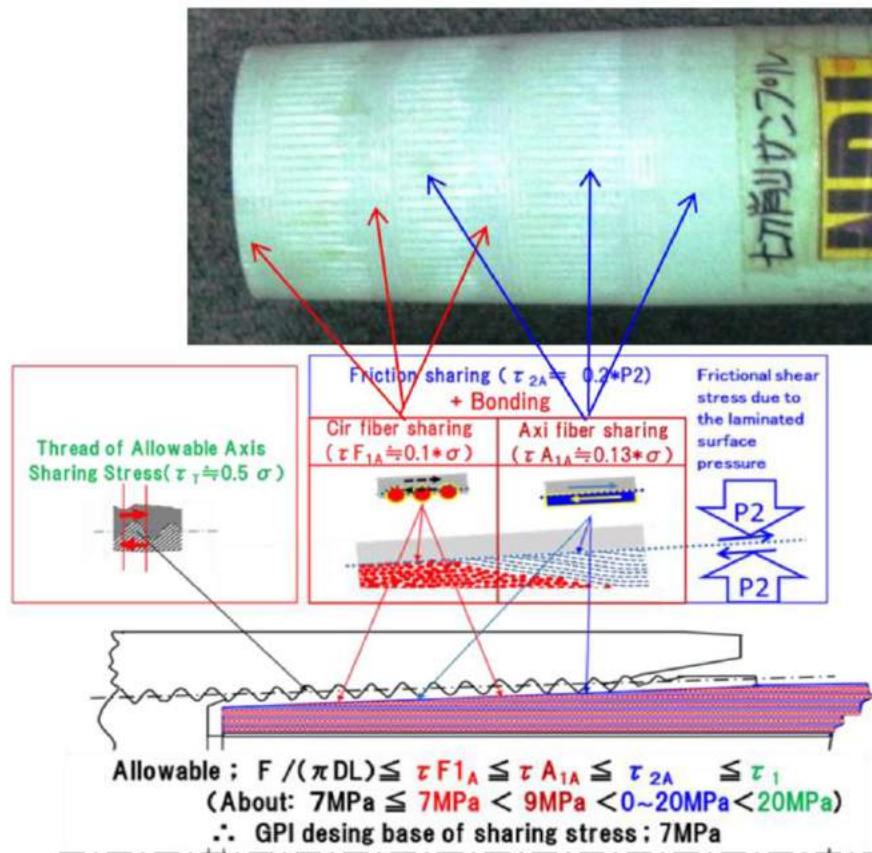


ネジは締め込み量により、
面圧が上昇するテーパ機構。

Fig 4 GPI coupling that allows the visual inspection
of the proper tightening of the Threads

20

3.6解説: 品質保証プログラム、接合面の強化 繊維配向による破壊挙動の相違



21

3.7解説: 品質保証プログラム、シール圧とトルク



図14 7インチケーシング管を用いたGグレード適正施工例



図13 7インチケーシング管を用いた適正施工と非適正施工結果例

Figure 14. Example of the optimal G-grade construction using 7" casing pipe

Figure 13. Example of the result of optimal construction and bad construction results using 7" casing pipe

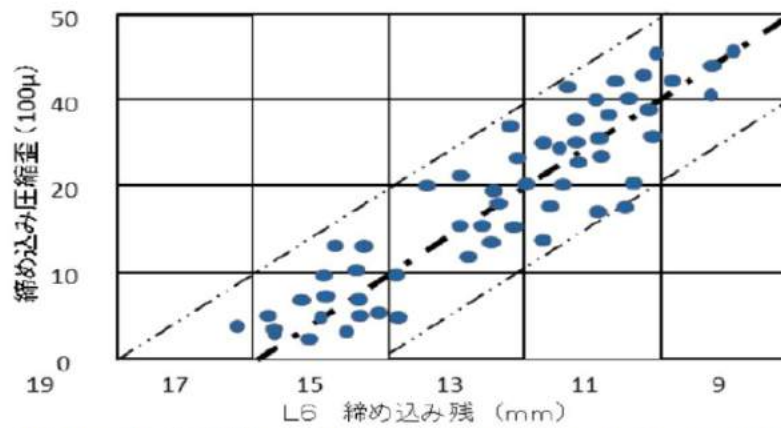


Figure 11. 2-7/8" maximum compression strain amount generated in the coupling tightening and the tube

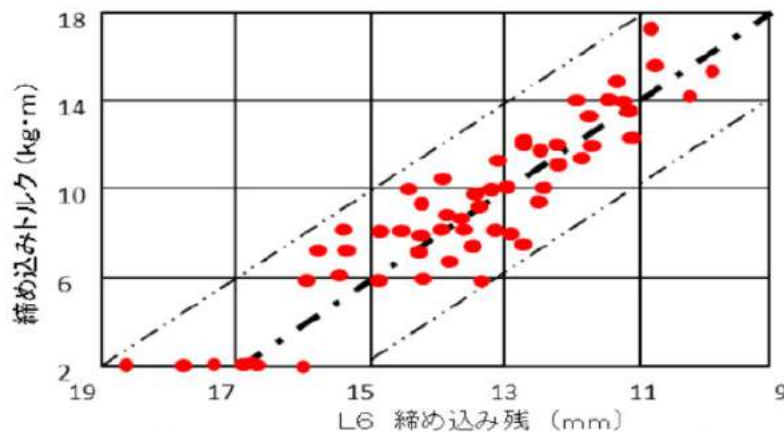


Figure 12 2-7/8" generated torque tighten coupling

23

3.8 解説：継手の強度特性

接着層に加わる最大圧力 P_0 は、管体の最大圧縮圧力（内圧の70%と仮定）と、平均継手部の管厚とカップリングの厚みの比で与えられる内圧伝達圧力 $P_0/3$ から次式の関係を持つ。

$$P_0 = (\sigma_\theta \cdot t \cdot 2/D_1) \cdot 0.7 + (P_0/3) \text{----- (1)}$$

ここで、 P_0 : 相間圧縮圧力、 D_1 : 管外径、管肉厚: t 、管材料破断強度: $\sigma_\theta = 450 \text{ MPa}$

P_1 : 破壊内圧（設計内圧）、 $P_1 = 450 \cdot 2t/D_1$

接着層に作用する軸方向応力は、摩擦力 F と接着力 $F\tau$ が作用する。

$$F\tau = \tau \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_1 \quad F = \mu_1 \cdot \pi \cdot L_1 \cdot D_1 \cdot P_0 \text{----- (2)}$$

ここで、層間せん断接着応力: τ （約7MPa）、 μ_1 : 積層間摩擦係数（約0.2）、接着長さ: L

内圧 P_1 と接着面の軸応力との関係から、次式が与えられる。

$$P_{1\max} = (F_{\max} + F\tau_{\max}) / (\pi \cdot D_1^2 \cdot 0.25) = ((\pi \cdot \mu_1 \cdot P_0 \cdot L_1 \cdot D_1) + (7 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot L_1)) / (0.25 \cdot \pi \cdot D_1^2) = (756 \cdot t + 28 \cdot D_1) L_1 / D_1^2 \text{---- (3)}$$

24

P1 Max (Mpa)							Parameter: D1, t, L1 (mm)
	D1	80	120	160	200	240	
t P0 (Mpa)	8	95	63	47	38	32	Assumption: The coupling is twice the thickness of the pipe thickness, the compressive strength is 70% of the tensile, the circumferential tension is 450 MPa Permissible seal pressure: P0 / 1.5 (100 MPa allowable defect)
	12	120	95	71	57	47	
	16	189	126	95	76	63	
	20	236	158	118	95	79	
	24	284	189	142	113	95	
	28	331	221	165	132	110	
t μ 1: 0.2 τ	8	26	20	16	15	13	Assumption: The phase friction coefficient is 0.2, the axial shear stress is the resultant force of the adhesive shear force 7 MPa, the axial shear stress τ (Mpa)
	12	31	26	21	18	16	
	16	45	32	26	22	20	
	20	54	39	31	26	23	
	24	64	45	35	30	26	
	28	73	51	40	33	29	
t L1=100 Pmax	8	130	65	41	29	22	Parameter: pipe thickness and adhesive length added maximum internal pressure, (MPa) Design pressure resistance 100 MPa Applicable indication of pipe diameter 80 to 200 mm is in red
	12	155	86	53	37	27	
	16	224	107	65	44	33	
	20	271	128	77	52	38	
	24	319	149	88	59	43	
	28	366	170	100	67	48	
t L1=150 Pmax	8	194	98	62	44	33	
	12	233	130	79	55	41	
	16	336	161	97	66	49	
	20	407	193	115	78	57	
	24	478	224	133	89	65	
	28	549	256	150	100	73	
t L1=200 Pmax	8	259	131	82	58	44	
	12	310	173	106	73	55	
	16	448	215	130	88	65	
	20	543	257	153	104	76	
	24	637	299	177	119	86	
	28	732	341	200	134	97	

Fig Limit sealing pressure, theoretical value of axial pressure

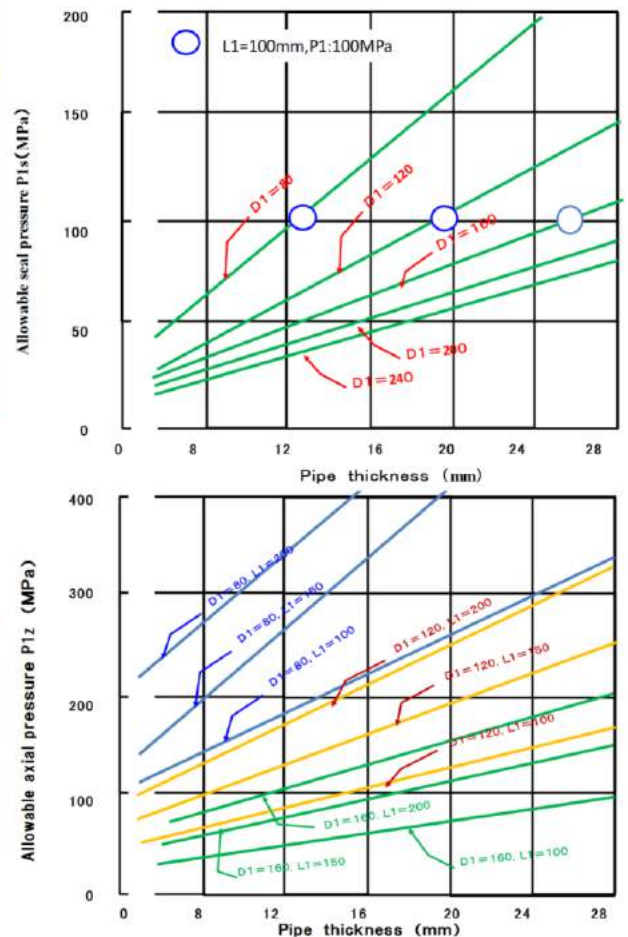


Fig Relationship between critical seal pressure, axial stress and pipe thickness, adhesion length

3.9 解説: GPI継手ネジ設計基準

接着層に加わる最大圧力 $P0$ は、管体の最大圧縮圧力 (内圧の70%と仮定) と、平均継手部の管厚とカップリングの厚みの比で与えられる内圧伝達圧力 $P0/3$ から次式の関係を持つ。

$$P0 = (\sigma_g \cdot t \cdot 2/D1) \cdot 0.7 + (P0/3) \text{----- (1)}$$

ここで、 $P0$: 相間圧縮圧力、 $D1$: 管外径、管肉厚: t 、管材料破断強度: $\sigma_g = 450$ MPa
 $P1$: 破壊内圧 (設計内圧)、 $P1 = 450 \cdot 2t/D1$

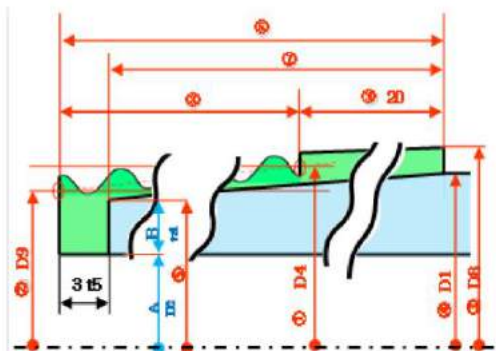
接着層に作用する軸方向応力は、摩擦力 F と接着力 $F\tau$ が作用する。

$$F\tau = \tau \cdot \pi \cdot D1 \cdot L1 \quad F = \mu 1 \cdot \pi \cdot L1 \cdot D1 \cdot P0 \text{----- (2)}$$

ここで、層間せん断接着応力: τ (約 7 MPa)、 $\mu 1$: 積層間摩擦係数 (約 0.2)、接着長さ: L

内圧 $P1$ と接着面の軸応力との関係から、次式が与えられる。

$$P1max = (Fmax + F\tau max) / (\pi \cdot D1^2 \cdot 0.25) = ((\pi \cdot \mu 1 \cdot P0 \cdot L1 \cdot D1) + (7 \cdot \pi \cdot D1 \cdot L1)) / (0.25 \cdot \pi \cdot D1^2) = (756 \cdot t + 28 \cdot D1) L1 / D1^2 \text{---- (3)}$$



表示管径: 2-3/8" ~ 30"

適用: Tubing, Casing
Line pipes

カップリング: API TR 8

材料: E-glass50%(vol),
VE Resin50%(Vol)

設計耐圧: E40 40MPa

G 60MPa

M 80MPa

H 100MPa

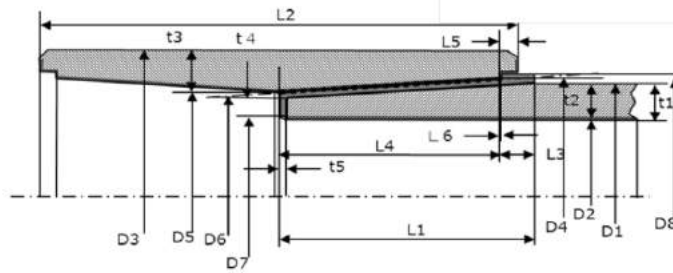
設計耐熱: 60℃~250℃

耐久性能: 10年($Sf>3$)適用

50年($Sf>5$)適用

Grade	t (mm)	A (mm)	ED4 (mm)	ED1 (mm)	ED (mm)	ED (mm)	ED (mm)	ED (mm)	ED (mm)
2-3/8"	E10	3.5	57	66.8	64.0	57.9	100	97	36
	E20	4.0	56	66.8	64.0	57.9	100	97	43
	E40	5.5	53	66.8	64.0	57.9	100	97	65
	G	6.0	52	66.8	64.0	57.9	100	97	72
	M	7.0	50	66.8	64.0	57.9	100	97	86
	H	7.5	49	66.8	64.0	57.9	100	97	112
2-7/8"	E10	4.0	60	79.8	77.0	70.3	110	107	36
	E20	4.5	60	79.8	77.0	70.3	110	107	42
	E40	6.0	65	79.8	77.0	70.3	110	107	60
	G	6.5	64	79.8	77.0	70.3	110	107	66
	M	8.0	61	79.8	77.0	70.3	110	107	84
	H	9.0	59	79.8	77.0	70.3	110	107	114
3-1/2"	E10	4.5	83	94.8	92.0	83.6	135	132	35
	E20	5.0	82	94.8	92.0	83.6	135	132	40
	E40	6.5	77	94.8	92.0	83.6	135	132	55
	G	7.5	77	94.8	92.0	83.6	135	132	65
	M	9.5	73	94.8	92.0	83.6	135	132	85
	H	10.0	72	94.8	92.0	83.6	135	132	108
4-1/2"	E10	5.2	104	117.1	114.3	105.1	150	147	33
	E20	5.7	103	117.1	114.3	105.1	150	147	37
	E40	7.7	99	117.1	114.3	105.1	150	147	54
	G	9.7	95	117.1	114.3	105.1	150	147	70
	M	11.7	91	117.1	114.3	105.1	150	147	86
	H	12.2	90	117.1	114.3	105.1	150	147	107
5"(W)	E10	4.5	118	129.8	127.0	120.9	160	157	25
	E20	5.0	117	129.8	127.0	120.9	160	157	29
	E40	7.5	112	129.8	127.0	120.9	160	157	47
	G	9.5	108	129.8	127.0	120.9	160	157	62
	M	12.0	103	129.8	127.0	120.9	160	157	80
	H	12.5	102	129.8	127.0	120.9	160	157	100
5-1/2"	E10	5.5	129	142.5	139.7	132.7	175	172	29
	E20	6.0	127	142.5	139.7	132.7	175	172	35
	E40	7.8	124	142.5	139.7	132.7	175	172	45
	G	11.4	117	142.5	139.7	132.7	175	172	68
	M	12.9	114	142.5	139.7	132.7	175	172	78
	H	13.9	112	142.5	139.7	132.7	175	172	101
7"(W)	E10	6.5	163	178.8	176.0	168.1	220	217	29
	E20	7.0	162	178.8	176.0	168.1	220	217	31
	E40	9.0	158	178.8	176.0	168.1	220	217	42
	G	13.0	150	178.8	176.0	168.1	220	217	63
	M	16.9	144	180.6	177.8	166.7	240	237	82
	H	17.9	142	180.6	177.8	166.7	240	237	105
8-5/8"	E10	8.1	203	221.9	219.1	210.2	260	257	30
	E20	9.6	200	221.9	219.1	210.2	260	257	36
	E40	11.6	196	221.9	219.1	210.2	260	257	44
	G	16.6	186	221.9	219.1	210.2	260	257	65
	M	20.6	178	221.9	219.1	210.2	260	257	87
	H	21.6	176	221.9	219.1	210.2	260	257	103
9-5/8"	E10	8.8	227	247.3	244.5	234.7	280	277	32
	E20	10.3	224	247.3	244.5	234.7	280	277	35
	E40	13.3	218	247.3	244.5	234.7	280	277	46
	G	17.3	210	247.3	244.5	234.7	280	277	61
	M	22.3	202	247.3	244.5	234.7	280	277	80
	H	23.3	198	247.3	244.5	234.7	280	277	100
13-3/8"	E10	12.7	327	355.2	352.4	338.6	360	357	31
	E20	13.7	326	355.2	352.4	338.6	360	357	32
	E40	17.7	317	355.2	352.4	338.6	360	357	44
	G	24.2	304	355.2	352.4	338.6	360	357	61
	M	32.2	288	355.2	352.4	338.6	360	357	81
	H	33.2	286	355.2	352.4	338.6	360	357	101
20"	E10	18.0	522	510.8	508.0	493.2	540	537	31
	E20	19.0	520	510.8	508.0	493.2	540	537	33
	E40	24.0	460	510.8	508.0	493.2	540	537	42
	G	34.0	440	510.8	508.0	493.2	540	537	60
	M	46.0	416	510.8	508.0	493.2	540	537	81
	H	47.0	414	510.8	508.0	493.2	540	537	100
23-5/8"	E10	21.0	558	602.8	600.0	587.7	660	657	31
	E20	22.0	556	602.8	600.0	587.7	660	657	32
	E40	28.0	544	602.8	600.0	587.7	660	657	41
	G	40.0	520	602.8	600.0	587.7	660	657	57
	M	53.0	494	602.8	600.0	587.7	660	657	80
	H	56.0	488	602.8	600.0	587.7	660	657	101
30"	E10	27.0	708	764.8	762.0	747.2	840	837	31
	E20	29.0	704	764.8	762.0	747.2	840	837	34
	E40	36.0	680	764.8	762.0	747.2	840	837	42
	G	52.0	658	764.8	762.0	747.2	840	837	62
	M	68.0	626	764.8	762.0	747.2	840	837	81
	H	72.0	618	764.8	762.0	747.2	840	837	102

3.10 解說: GPI技術標準: 油井管強度設計基準



Detail of FRP Pipes for 8 round screw joint

Base line and list of GPI design	Proportion	Outline of criteria	Construction standard
$t1=1/3$ to $1/5$ of allowable stress	1	necessary thickness design for allowable load should be under the condition of less than 10 years life, $1/3$ of burst stress, and $1/5$ of performance in 40 years.	Durability choice
$D1=API$ steel pipe std. OD + 3 to 4mm	2	GPI std. OD have 3 to 4 mm plus to API std. OD for having anti-corrosive layer	Casing applies the same
$L3=20mm$	3	To have 20mm entrance to relief stress from grinding and notch	10mm for low pressure application
$L1= t1 * \text{about } 10$	1	max. fabrication condition of effective length should be 10 times of thickness	
$t4=(1/3 \text{ to } 1/4)*t1$	2	thickness for allowable buckling to make sealing pressure (same as WP) by tightening	
$t5=2$ to 3mm	3	thickness for allowable stress on edge and corrosion resistance	
$L5=0.5$ to $1.5 * t1$	3	length for making enough sealing pressure	
$t2=0.03*D1$ or more	1	thickness against vacuum buckling	
$t3=1.5*t2$	1	structural wall condition for sealing pressure	
applied API 1/16 taper 8 round thread	1	suitable angle for stress relief, related to $L1$	
Thread: API 8 round (Fig12)	2	RTC by resin only for stress dispersion, different from API OCTG thread	
QC: sf 1.5 times of WP	2	QC test applies 10MPa to hot spring grade, 20MPa to E, 30 to G, 40 to M, 50 to H, (test load is 1.5 times of WP)	2 mins
need to have surface compress on thread	2	tightening torque for surface pressure same to WP. Sealing materials will be chosen due to each purpose	torque control

27

3.11 解說: GPI標準: 引張強度試驗法

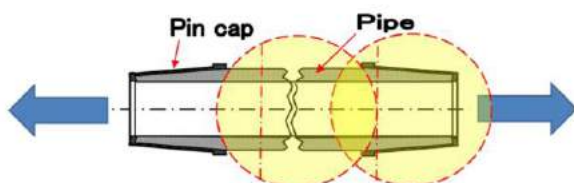


Fig 2 Axial tensile test pipe

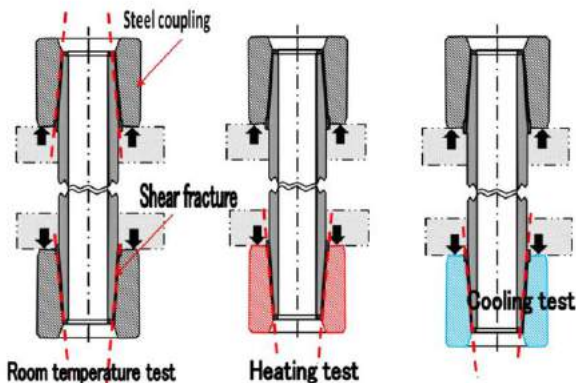


Fig 4 Heat-resistant strength test of the pin cap

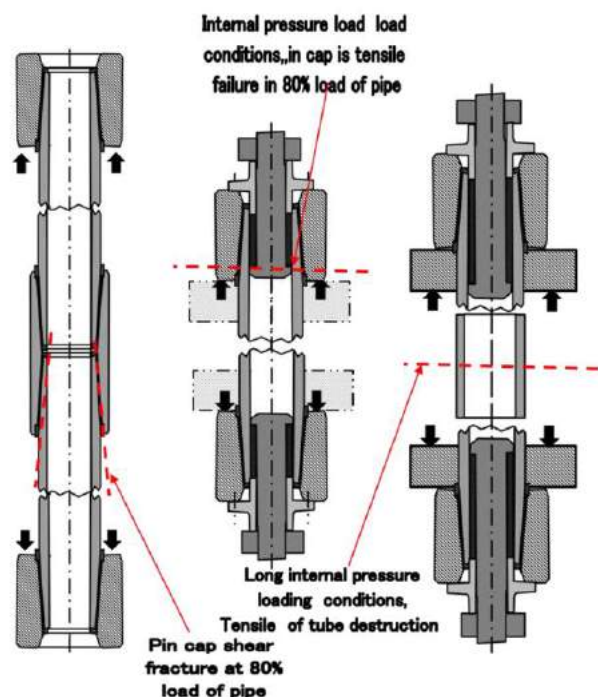


Fig 5 Axial tensile breaking strength test between the coupling chuck

28

3.12解説: 400トン標準試験機と治具の例



29

3.13解説: GPI標準: 内圧強度試験法

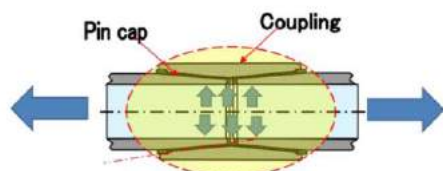


Fig 3 Internal pressure destructive testing of coupling

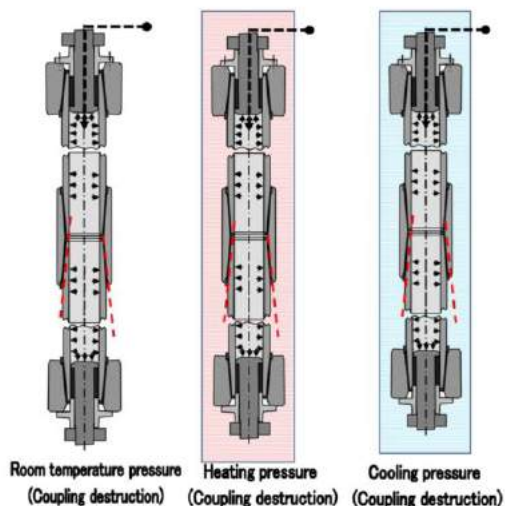


Fig 6 Axial tensile breaking test between the coupling chuck



30

3.14解説: 内圧100MPa、外圧40MPa、 $\sim 250^{\circ}\text{C}$ 4" > Tubing, 30" > Casing試験機例



31

3.15解説: GPI標準、複合荷重試験機構造

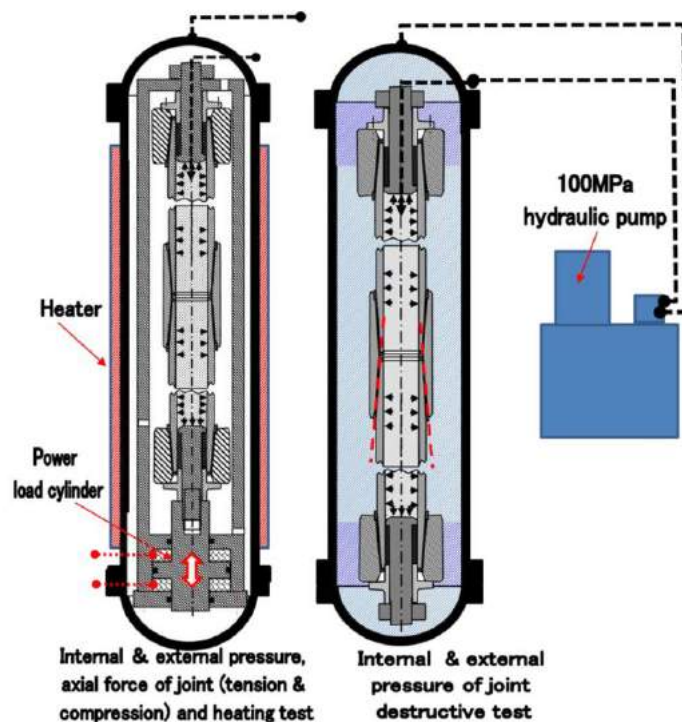
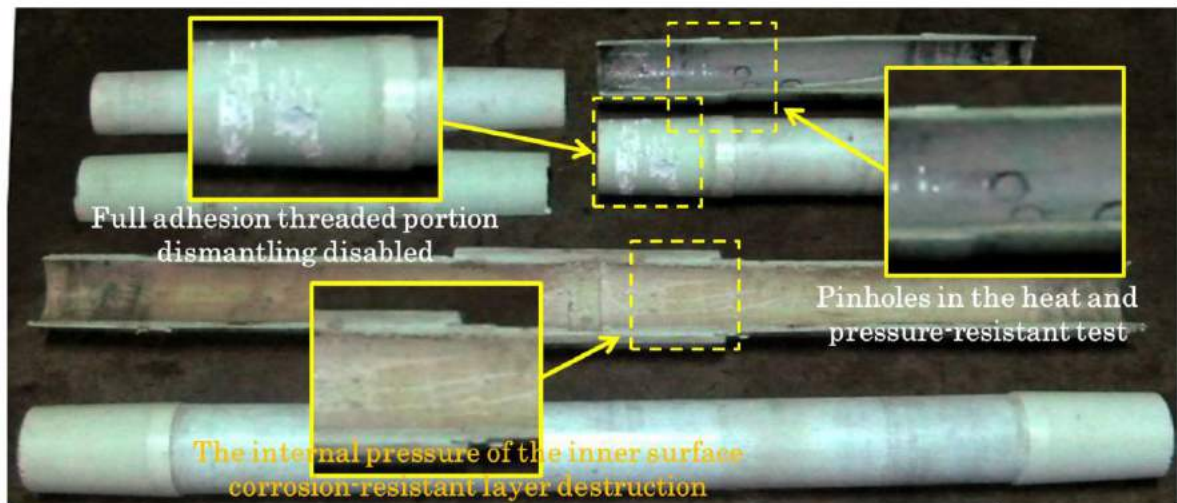


Fig 7 Axial tensile breaking strength test of the joint

32

3.16解説: 試験結果の破損判定例



Phot 9 Destruction state of the test results

33

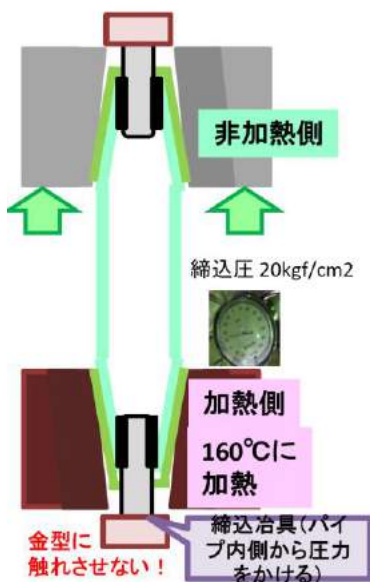
3.17解説: ピンキャップと管の接着、加熱引張試験 法

パイプ

- ・3-1/2インチ 肉厚 8.1全長500 mm
- ・SW50%/TH50%、両端加工(肉厚平均4.2mm)

ピンキャップ

- ・SW50%/TH50%、内面研削(#120)
- #接着剤 コニシEセットM 10g/1ピンキャップ



完全にずる剥け

結果

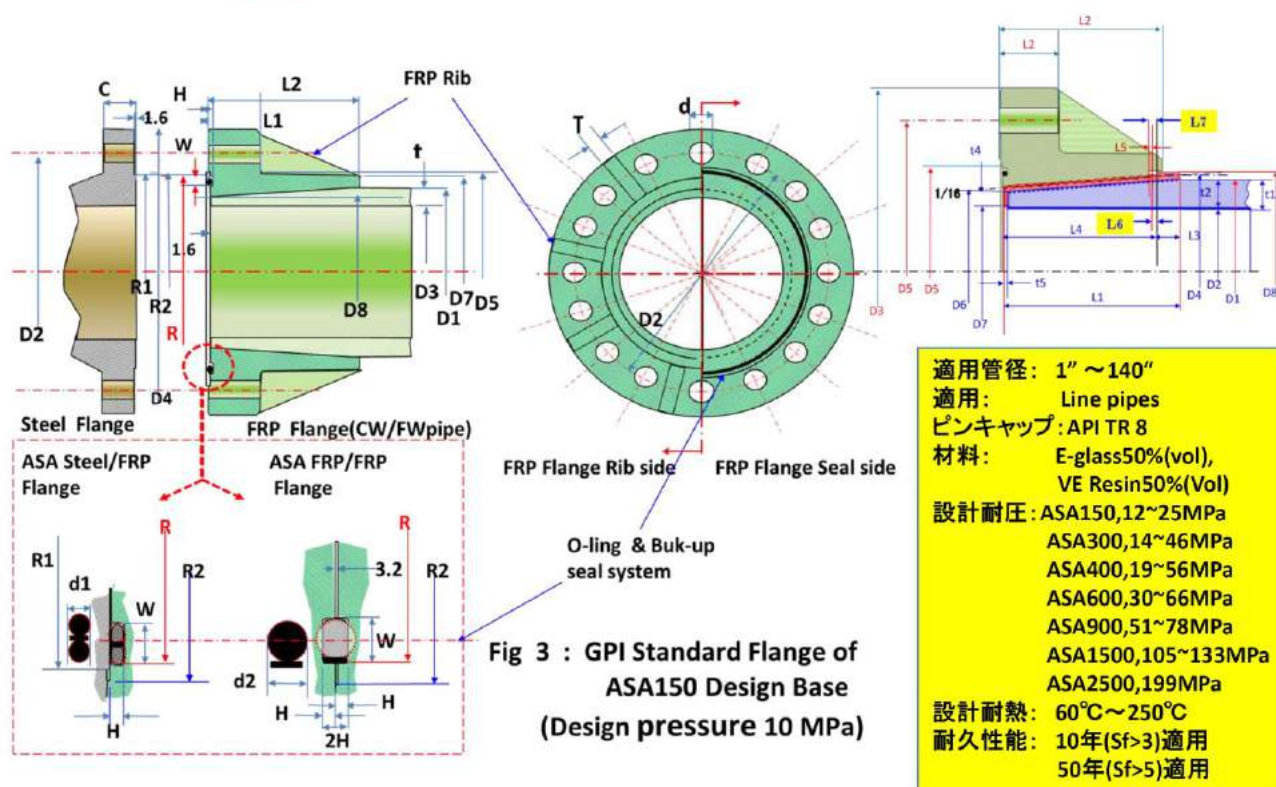
- ・加熱側ピンキャップすっぽ抜け
- ⇒接着不良(原因: 耐熱性不足)



3.18解説: 開発した接着剤(ハイブリッド16052601)実験結果

実験ID	ピンキャップ (加熱側)	接着剤	硬化温度	加熱温度	ピンキャップ (非加熱側)	接着剤	破壊圧 (MPa)	破壊力 (ton)	備考
16052601 (実験1)	ハイブリッド 樹脂50:50	Eセット (コニシ)	80°C, 1h	125	ハイブリッド 樹脂50:50	E set (コニシ)	8.0	10.7	ピンキャップ 脱落
16052603 (実験2)	ハイブリッド 接着剤70:30	ハイブリッド 接着剤 (70:30)	120°C, 1h	25	ハイブリッド 接着剤70:30	Eセット (コニシ)	20.0	26.7	ピンキャップ 脱落
16060501 (実験3)	ハイブリッド 樹脂70:30	ハイブリッド 接着剤 (70:30)	120°C, 1h	155	ハイブリッド 樹脂70:30	ハイブ リッド接 着剤 (70:30)	17.5	23.5	ピンキャップ 破壊
16060101	ハイブリッド 樹脂70:30	2088E (スリーボン ド)	100°C, 1h	150	ハイブリッド 樹脂70:30	E set (コニシ)	5.0	6.7	ピンキャップ 脱落(接着不 良)
16060102 (実験4)	ハイブリッド 樹脂50:50	ハイブリッド 接着剤 (50:50)	100°C, 1h	150	ハイブリッド 樹脂50:50	ハイブ リッド樹 脂50:50	7.0	9.4	ピンキャップ 脱落(接着不 良)
16060301	ハイブリッド 樹脂70:30	ハイブリッド 接着剤 (70:30)	120°C, 1h	155	ハイブリッド 樹脂70:30	ハイブ リッド接 着剤 (70:30)	13.0	17.4	非加熱側ピ ンキャップ破 壊
16060302 (実験5)	ハイブリッド 樹脂70:30	911T5 (東亜合成)	120°C, 1h	150	ハイブリッド 樹脂70:30	Eセット (コニシ)	0.0	0.0	据付中にピ ンキャップ脱 落
16060303 (実験6)	ハイブリッド 樹脂70:30	2088E (スリーボン ド)	120°C, 1h	145	ハイブリッド 樹脂70:30	ハイブ リッド接 着剤 (70:30)	14.0	18.8	ガラス繊維剥 離

3.19解説: GPI標準フランジの構造



NPS		Based on ASA Class 150										Design Base of GPI Class150 (Design Pressure Max 25MPa)										F		
DN(D3)	DN(D4)	DN(D2)	d	Bolt	Holes	P Bolt	DS	D7	D8	L1	L2	Flange	W	T	L	Material	W	T	L	Material	W	T	L	Material
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
25	108	79	19	M12	4	459	47	44	28	12	12	5.3	9	3.0	8	5.3	9	3.0	8	5.3	9	3.0	8	5.3
40	177	98	19	M12	4	179	55	63	44	14	14	5.0	6	3.7	11	5.9	6	3.7	11	5.9	6	3.7	11	5.9
50	192	121	19	M16	4	162	82	80	53	15	15	5.5	8	4.1	16	5.8	8	4.1	16	5.8	8	4.1	16	5.8
65	178	140	19	M16	4	96	102	98	70	18	18	5.3	6	4.7	23	5.5	6	4.7	23	5.5	6	4.7	23	5.5
80	191	152	19	M16	4	83	114	110	86	18	18	5.1	6	5.3	32	5.8	6	5.3	32	5.8	6	5.3	32	5.8
100	229	181	19	M16	8	81	153	148	107	18	18	5.5	8	6.7	47	6.0	8	6.7	47	6.0	8	6.7	47	6.0
125	254	236	25	M20	8	76	190	184	134	21	21	9.4	8	10.8	61	10.8	8	10.8	61	10.8	8	10.8	61	10.8
150	270	241	23	M20	8	50	195	188	140	26	26	10.2	8	10.2	68	10.2	8	10.2	68	10.2	8	10.2	68	10.2
200	342	298	23	M20	8	30	252	244	212	32	32	15.0	8	19.8	101	19.8	8	19.8	101	19.8	8	19.8	101	19.8
250	408	362	27	M24	12	29	304	298	245	37	37	16.2	10	21.6	130	21.6	10	21.6	130	21.6	10	21.6	130	21.6
300	482	432	27	M24	12	27	368	362	317	42	42	18.7	10	24.8	161	24.8	10	24.8	161	24.8	10	24.8	161	24.8
350	552	478	30	M27	12	25	418	403	370	49	49	21.9	12	28.7	192	28.7	12	28.7	192	28.7	12	28.7	192	28.7
400	587	540	30	M27	16	25	480	487	418	55	55	20.6	12	25.3	223	25.3	12	25.3	223	25.3	12	25.3	223	25.3
450	635	578	33	M30	16	24	512	498	470	61	61	23.1	16	28.7	254	28.7	16	28.7	254	28.7	16	28.7	254	28.7
500	688	635	33	M30	20	24	568	552	522	67	67	25.3	16	31.6	285	31.6	16	31.6	285	31.6	16	31.6	285	31.6
600	812	748	38	M33	20	20	677	658	675	78	78	29.8	18	37.8	336	37.8	18	37.8	336	37.8	18	37.8	336	37.8
650	870	806	38	M33	24	21	734	714	777	84	84	32.1	18	40.6	367	40.6	18	40.6	367	40.6	18	40.6	367	40.6
700	927	864	38	M33	28	21	792	771	779	89	89	34.3	18	43.5	398	43.5	18	43.5	398	43.5	18	43.5	398	43.5
750	984	914	38	M33	28	18	842	818	781	96	96	36.6	18	46.4	429	46.4	18	46.4	429	46.4	18	46.4	429	46.4
800	1049	978	42	M36	28	22	894	870	833	102	102	38.8	18	49.3	460	49.3	18	49.3	460	49.3	18	49.3	460	49.3
850	1111	1029	42	M36	32	22	948	918	885	108	108	41.1	18	52.2	491	52.2	18	52.2	491	52.2	18	52.2	491	52.2
900	1168	1066	42	M36	32	20	1007	975	937	114	114	43.4	18	55.1	522	55.1	18	55.1	522	55.1	18	55.1	522	55.1
950	1228	1149	42	M36	32	18	1065	1042	978	115	115	45.7	18	58.0	553	58.0	18	58.0	553	58.0	18	58.0	553	58.0
1000	1289	1200	42	M36	36	18	1116	1097	1030	121	121	48.1	18	60.9	584	60.9	18	60.9	584	60.9	18	60.9	584	60.9
1050	1348	1257	42	M36	36	18	1172	1147	1081	126	126	49.9	18	63.8	615	63.8	18	63.8	615	63.8	18	63.8	615	63.8
1100	1403	1314	42	M36	40	18	1230	1203	1132	132	132	52.7	18	66.7	646	66.7	18	66.7	646	66.7	18	66.7	646	66.7
1150	1454	1363	42	M36	40	15	1281	1253	1184	138	138	54.5	18	69.6	677	69.6	18	69.6	677	69.6	18	69.6	677	69.6
1200	1511	1422	42	M36	44	15	1338	1309	1236	143	143	56.3	18	72.5	708	72.5	18	72.5	708	72.5	18	72.5	708	72.5
1250	1568	1480	48	M45	44	18	1384	1354	1286	150	150	60.2	18	75.4	739	75.4	18	75.4	739	75.4	18	75.4	739	75.4
1300	1626	1537	48	M45	44	17	1441	1410	1338	155	155	60.0	18	78.3	770	78.3	18	78.3	770	78.3	18	78.3	770	78.3
1350	1683	1594	48	M45	44	16	1498	1466	1388	161	161	51.8	18	81.2	801	81.2	18	81.2	801	81.2	18	81.2	801	81.2
1400	1748	1651	48	M45	48	16	1555	1522	1441	166	166	50.6	18	84.1	832	84.1	18	84.1	832	84.1	18	84.1	832	84.1
1450	1803	1708	48	M45	48	15	1612	1577	1482	171	171	55.4	18	87.0	863	87.0	18	87.0	863	87.0	18	87.0	863	87.0
1500	1855	1759	48	M45	52	15	1663	1627	1543	177	177	57.2	18	89.9	894	89.9	18	89.9	894	89.9	18	89.9	894	89.9
1600	2198	2098	48	M45	60	12	2000	1963	1839	206	206	58.6	18	92.8	925	92.8	18	92.8	925	92.8	18	92.8	925	92.8
1650	2263	2261	58	M52	64	15	2149	2109	1992	224	224	62.4	18	95.7	956	95.7	18	95.7	956	95.7	18	95.7	956	95.7
1700	2324	2428	56	M52	64	13	2214	2171	2145	241	241	60.1	18	98.6	987	98.6	18	98.6	987	98.6	18	98.6	987	98.6
2250	2706	2551	62	M56	88	14	2467	2431	2358	259	259	73.9	18	101.5	1018	101.5	18	101.5	1018	101.5	18	101.5	1018	101.5
2400	2877	2756	62	M56	88	13	2632	2584	2452	275	275	77.5	18	104.4	1049	104.4	18	104.4	1049	104.4	18	104.4	1049	104.4
2550	3048	2908	70	M64	72	15	2768	2718	2604	294	294	82.4	18	107.3	1080	107.3	18	107.3	1080	107.3	18	107.3	1080	107.3
2700	3220	3067	70	M64	72	14	2927	2873	2758	317	317	87.2	18	110.2	1111	110.2	18	110.2	1111	110.2	18	110.2	1111	110.2
2850	3391	3218	78	M70	78	15	3087	3009	2810	331	331	92.1	18	113.1	1142	113.1	18	113.1	1142	113.1	18	113.1	1142	113.1
3000	3563	3377	78	M70	78	14	3279	3159	2883	348	348	86.8	18	116.0	1173	116.0	18	116.0	1173	116.0	18	116.0	1173	116.0
3150	3734	3537	82	M76	88	15	3373	3319	3211	368	368	101.8	18	118.9	1204	118.9	18	118.9	1204	118.9	18	118.9	1204	118.9
3300	3906	3702	82	M76	88	14	3558	3472	3270	382	382	106.2	18	121.8	1235	121.8	18	121.8	1235	121.8	18	121.8	1235	121.8
3450	4077	3861	88	M83	84	16	3683	3614	3523	401	401	111.1	18	124.7	1266	124.7	18	124.7	1266	124.7	18	124.7	1266	124.7
3600	4249	4026	88	M83	84	14	3847	3770	3678	418	418	115.8	18	127.6	1297	127.6	18	127.6	1297	127.6	18	127.6	1297	127.6

compression & BMC material
Vemco Pressure 25MPa

CW Drilling by C/S
20Mpa (Under 1500)

CW Drilling by C/S
15Mpa (Under 1500)

CW Drilling & premium material
Design Pressure 1.2Mpa

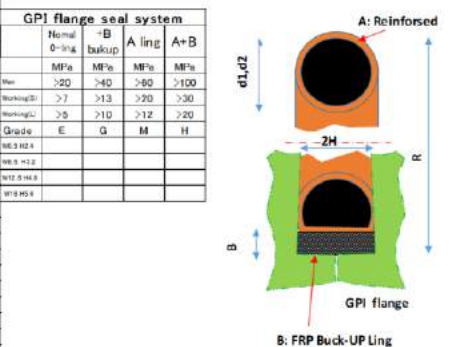
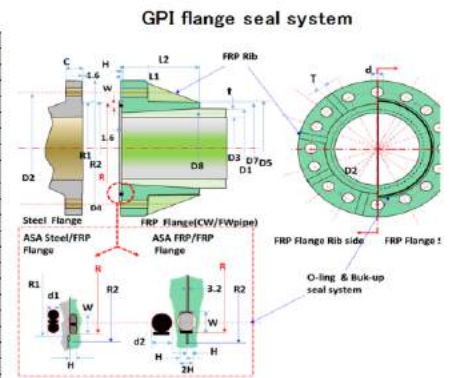
NPS		Class 800				Design Base of GPI Class800 (Design Pressure Max 40MPa)														Pipe & Co				
DN(D3)	DN(D4)	DN(D2)	d	Bolt	Holes	P Bolt	DS	D7	D8	L1	L2	Flange	W	T	L	Material	W	T	L	Material	W	T	L	Material
25	125	90	19	M12	4	459	30	48	30	12	12	5.1	9	3.3	8	5.1	9	3.3	8	5.1	9	3.3	8	5.1
40	178	104	21	M14	4	230	62	65	46	16	16	5.2	6	3.1	10	5.2	6	3.1	10	5.2	6	3.1	10	5.2
50	192	127	19	M16	4	226	86	84	57	18	18	5.4	8	3.8	13	5.4	8	3.8	13	5.4	8	3.8	13	5.4
65	190	143	22	M20	4	205	104	99	74	17	17	5.4	8	4.0	16	5.4	8	4.0	16	5.4	8	4.0	16	5.4
80	210	168	21	M16	8	176	123	117	90	16	16	5.3	6	5.0	23	5.3	6	5.0	23	5.3	6	5.0	23	5.3
100	235	180	22	M20	8	157	155	141	110	20	20	5.3	6	5.0	32	5.3	6	5.0	32	5.3	6	5.0	32	5.3
125	260	220	21	M20	8	72	192	182	138	25	25	10.8	8	7.2	66	10.8	8	7.2	66	10.8	8	7.2	66	10.8
150	285	245	22	M20	12	59	202	191	141	28	28	10.8	8	8.3	94	10.8	8	8.3	94	10.8	8	8.3	94	10.8
200	330	290	21	M20	12	34	274	267	220	35	35	19.8	8	10.3	135	19.8	8	10.3	135	19.8	8	10.3	135	19.8
250	402	362	28	M24	16	30	300	290	230	37	37	22.5	8	10.8	165	22.5	8	10.8	165	22.5	8	10.8	165	22.5
300	450	410	31	M24	16	30	300	290	230	37	37	22.5	8	10.8	165	22.5	8	10.8	165	22.5	8	10.8	165	22.5
350	500	460	32	M27	16	50	347	340	282	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
400	550	510	33	M27	32	48	400	400	328	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
450	600	560	33	M30	32	48	450	450	345	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
500	650	610	33	M30	32	48	500	500	370	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
550	700	660	33	M30	32	48	550	550	395	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
600	750	710	33	M30	32	48	600	600	420	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
650	800	760	33	M30	32	48	650	650	445	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
700	850	810	33	M30	32	48	700	700	470	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
750	900	860	33	M30	32	48	750	750	495	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
800	950	910	33	M30	32	48	800	800	520	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
850	1000	960	33	M30	32	48	850	850	545	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
900	1050	1010	33	M30	32	48	900	900	570	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
950	1100	1060	33	M30	32	48	950	950	595	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1000	1150	1110	33	M30	32	48	1000	1000	620	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1050	1200	1160	33	M30	32	48	1050	1050	645	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1100	1250	1210	33	M30	32	48	1100	1100	670	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1150	1300	1260	33	M30	32	48	1150	1150	695	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1200	1350	1310	33	M30	32	48	1200	1200	720	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1250	1400	1360	33	M30	32	48	1250	1250	745	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1300	1450	1410	33	M30	32	48	1300	1300	770	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1350	1500	1460	33	M30	32	48	1350	1350	795	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1400	1550	1510	33	M30	32	48	1400	1400	820	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1450	1600	1560	33	M30	32	48	1450	1450	845	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1500	1650	1610	33	M30	32	48	1500	1500	870	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1550	1700	1660	33	M30	32	48	1550	1550	895	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1600	1750	1710	33	M30	32	48	1600	1600	920	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1650	1800	1760	33	M30	32	48	1650	1650	945	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1700	1850	1810	33	M30	32	48	1700	1700	970	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1750	1900	1860	33	M30	32	48	1750	1750	995	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5
1800	1950	1910	33	M30	32	48	1800	1800	1020	40	40	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5	8	10.8	190	26.5

3.21解説：品質保証プログラム：ブレーカはパッキン

Class 1500						Design Base of GPI Class1500 (Design Pressure Max. 1500 Pn)										Pipe & Co	
NPS	DN(D3)	DU(D4)	Ds(D2)	d	Bolt	Holes	M Pn	D5	D7	D8	L1	L2	Material	W	T	1	Head
	mm	mm	mm	mm			MPa	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm
25	150	102	25	M20	4	1156	50.8	45	35	14	89		Material	1	6	7.5	17
40	180	124	25	M27	4	573	66.6	58	54	16	125			2	6	10.9	38
50	215	165	25	M22	8	578	114.3	105	67	16	146			9	6	13.1	57
85	245	191	25	M27	8	434	133.3	122	88	18	182			14	6	16.4	93
80	265	203	32	M27	8	354	136.6	126	106	21	218			17	6	19.7	157
100	310	241	38	M30	8	273	171.5	155	132	24	266			29	6	24.2	210
125	375	292	41	M36	8	245	209.5	189	164	28	335			52	6	29.7	322
150	385	318	38	M33	12	217	241.3	217	196	32	385			77	6	35.3	458
200	485	394	45	M39	12	166	304.7	273	261	41	505			149	8	46.3	801
250	585	483	51	M45	12	139	381	342	376	49	673			286	8	57.4	1240
300	675	572	64	M52	16	145	463.5	417	391	56	741		compression & EMC material Design Pressure 1.5MPa	508	8	68.5	1775
350	750	635	60	M56	16	133	514.4	461	455	66	862			675	8	79.6	2408
400	825	700	67	M64	15	125	571.4	522	490	68	788			776	8	72.0	2405
450	915	775	73	M68	15	118	625.7	573	556	76	884			846	8	80.8	3033
500	985	832	78	M76	15	113	673	612	618	86	981			1111	8	89.5	3730
600	1168	981	92	M85	15	105	806.7	732	741	102	1172			1897	8	107.0	5350

NPS		Class 2500				Design Base of GPI Class2500 (Design Pressure Max. 100MPa)										Pipe & Co	
ND(D3)	DU(D4)	Da(D2)	t		Roll	Holes	P-Base	D5	D7	D8	L1	L2	Facing	W	T	L	Hard
mm	mm	mm	mm				mm	mm	mm	mm	mm	mm	Metrical	mm	mm	mm	Max
25	160	168	25	M24	4	1156	57.2	50	38	14	117			2	8	10.3	25
40	205	146	32	M30	4	708	82.4	72	60	17	169			5	6	15.3	58
50	235	171	39	M27	8	733	114.2	101	74	17	203			12	6	18.6	88
65	265	197	32	M30	8	536	132.2	117	96	21	256			20	6	23.6	144
80	305	229	35	M33	8	426	158.2	140	118	20	300			33	6	28.5	214
100	355	273	41	M39	8	382	190.4	167	147	27	379			56	8	35.2	379
125	420	324	48	M45	8	325	228.8	199	183	32	467			96	8	42.5	508
150	485	368	54	M52	8	290	260.2	226	219	38	555			141	8	51.8	725
200	550	438	54	M52	12	245	330.2	284	291	48	737			280	8	68.3	1274
250	675	540	87	M56	12	199	406.4	350	363	58	908			516	8	84.9	1937
300	760	619	78	M70	12	238	473.1	405	435	70	1095			802	8	101.5	2893

D3 (ND)	0-ring			Volume ratio	R		Ri
	Steel/ FRP	FRP/ FRP					
	mm	mm	d2 mm		Max	mm	
25		d1.3	d2.6	0.91	47	6	
40	W6.5	W6.5			66	8	
50	H2.4	H2.4			89	9	
65					101	11	
80	d1.4	d2.8		0.92	123	13	
100	W8.5	W8.5			153	16	
125	H3.2	H3.2			182	19	
150					212	23	
200				0.93	264	27	
250					326	34	
300					377	39	
350					409	44	
400					466	49	
450					529	56	
500					580	61	
550					671	71	
600					688	72	
700					—	—	
750					87	—	
800	d1.6	d2:12			98	—	
850	W12.6	W12.6	0.93		103	—	
900	H4.8	H4.8			103	—	
950					—	—	
1000					—	114	—
1050				—	—		
1100				—	124	—	
1150				—	—		
1200				—	135	—	
1250				—	—		
1300				—	145	—	
1350				—	—		
1400				—	156	—	
1450				—	—		
1500				—	167	—	
1800				0.94	—	—	
1950					—	—	
2100					—	—	
2250					—	—	
2400					—	—	
2550					—	—	
2700	d1:15	d1:15	0.94		—	—	
2850	W16	W16			—	—	
3000	H5.6	H5.6			—	—	
3150					—	—	
3300					—	—	
3450					—	—	
3600				—	—		



41

3.22解説: GPI標準タンク、設計標準

容器に必要な圧力壁厚 t :

$$t = t_3 + t_4 = t_1 \cdot (1.5 + 0.25) = 1.75 \cdot t_1$$

t1: 薄肉、JALI:Sf3 仮定

$$t_1 = 3 \cdot (P \cdot D) / (2 \cdot \sigma)$$

$$\therefore t = 2.625 \cdot PD / \sigma$$

よって、 P , D は与えられる

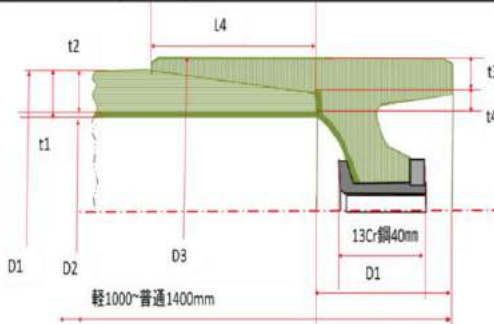
必要材料 $W=f(\sigma)$

必要コスト $C=W \cdot @$

最適設計は、W、C最小値

**GPI 標準:水素用140MPa
CNG用60MPa**

設計手順	GPI 設計基準項目と基準値	重要度	必要基準の概要	施工基準
1	t1=許容応力の 1/3~1/5	1	許容荷重の設計必要内厚は耐久性10年未満で破断応力の 1/3、40年で 1/5 必要条件	耐久性で選択
5	D1=A P1 設置基準外形 +3~4 mm	2	API 鋼管基準外形に対して、GPI 基準外形は耐食層保護のための増肉厚分3~4 mm大きくする	
10	L3=20 mm	3	耐食材成形部品の接合から切削により応力集中と肉肉配とノッチをなくすために20mmエントランスを作る	巻軸力暫10mm
2	L1=約 10 *t1	1	有効な最大接合条件の長さは10倍の内厚	
6	t4=(1/3~1/4) *t1	2	初期締めの締め合圧力（使用内圧に等しいシール圧力）を作るための許容面密のための最小内厚	
9	t5=2~3 mm	3	端面に作用する最大内圧と腐食劣化に耐える内厚	
8	L6=0.5~1.5 *t1	3	必要シール圧力を作る締め込み長さを確保する	
7	t2=0.03 *D1 以上	1	管の真空空間以上の最低内厚が必要	
3	t3=1.5 *t1	1	シール圧力を確保するための強化層の厚み	
4	ねじ部 1/16 テーパ、8山/インチ	1	応力緩和となる最小角度、L1 設定と併用	
標準	適用ねじ: API 8 Round	2	鋼管 API 1 ねじとは異なり、せん断応力の分散のために歯端のみにある丸型ねじ山形状の規定が必要	
標準	出荷品確認値: 使用圧力の 1.5 倍	2	負荷試験最大荷重、室温: 10、E: 20、G: 30、M: 40、M: 60 MPa、非破壊検査 腐食層は使用荷重の 1.5 倍	2 分間連続併用
標準	ねじ締込み発生面圧確保必要	2	使用内圧と同ねじ締結面圧を得る締め込みトルクを確保して施工、シール材は目的により選択 必要	トルク規制



100MPa 高压水素タンク継手部NBL設計基準

御清聴ありがとうございました。

水素タンクの開発、地下ピットでの性能試験

