

内部加熱方式による 複合蓄圧器製造に関する研究

福岡水素エネルギー戦略会議
平成22年度第6回研究分科会

2011年2月18日
九州大学大学院知能機械システム専攻
精密加工学研究室
博士課程2年 三浦崇寛



内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

発表概要

- 研究背景
- 複合蓄圧器の概要
- 内部加熱方式の概要
 - 内部加熱方式による複合蓄圧器の製作
- 内部加熱方式+DRY法による複合蓄圧器製造に関する研究
 - 円筒管破裂試験
 - 燃焼法による空隙率測定試験
 - 層間せん断試験
- 考察及び今後の課題と予定

研究背景

近年、環境問題およびエネルギー問題に対する対策が強く求められるようになった。
その一つとして、**水素社会**に関する研究・開発が行われている。



水素社会への移行には、

- ◆水素貯蔵量の増加
- ◆水素を供給するインフラの整備

が必要である。

研究の背景

- ◆水素貯蔵量を増やすには・・・

水素を**高圧**でタンクに充填することで、水素の搭載量を増やす。

⇒ **高圧水素タンク**

- ◆水素を供給するインフラを整備するには・・・

水素ステーションの建設費や維持費を下げる。

⇒ **水素タンクの製造コスト削減**

高圧化に対応し、製造コストを抑えたタンクが必要。

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

複合蓄圧器の概要

● 圧縮水素用タンクに関して

- 金属製タンク、または複合タンク(複合蓄圧器)がある
- 現在、CFRPで補強されたCFRPタンクが主流となっている

CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック



出展: 日産自動車株式会社(水素エネルギー先端技術展2008)



九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

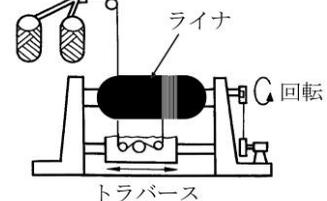
複合蓄圧器の概要

● CFRPタンク成形手順

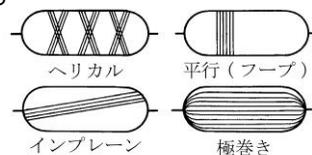
FW法 (Filament Winding Method)

- ① 一定張力を付加しつつ炭素繊維をライナへ巻付ける
ライナの仕様にあわせて巻き方、巻付け角度を変更しつつ積層する
 - フープ……………ライナ周方向を強化する
 - ヘリカル……………ライナ周方向、軸方向を強化する
- ② 樹脂を加熱硬化させる
利点: 強化繊維の強度を有効に利用できる
欠点: 製造設備が必要となる

給糸スタンド (クリール)



FW 装置概念図



巻きパターン

九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

・内部加熱方式

内部加熱方式では巻き付けと同時にライナを内部から熱風やヒータを用いて加熱し、樹脂の硬化を行っている。(同時硬化,SPWC)

SPWC: Simultaneous Process of Winding and Curing

・内部加熱方式の効果

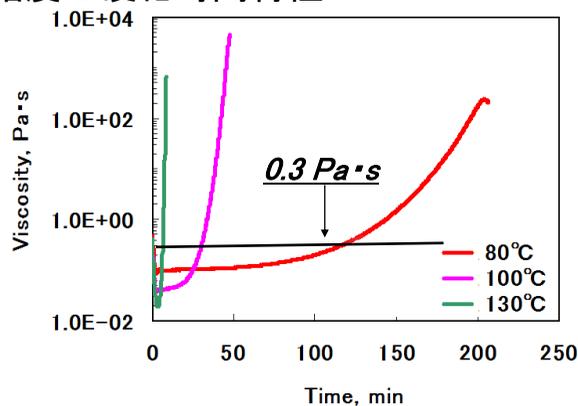
- ・同時硬化による繊維のゆるみ防止
 - ➡ CFRP層強度の向上
- ・樹脂の粘度低下による接着性の改善
 - ➡ 繊維間の負荷伝達の向上
 - ➡ 空隙の除去(クラック発生を抑制)

 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

・樹脂粘度の硬化時間特性



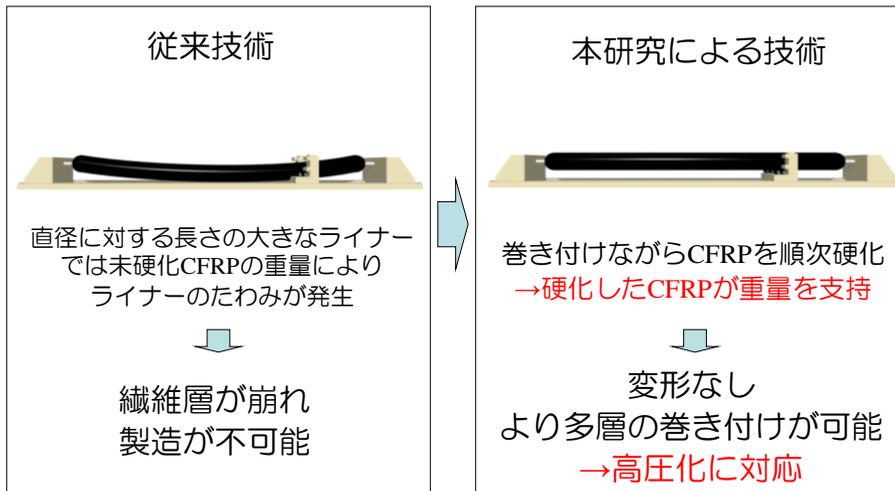
・0.3Pa·s以下なら繊維間を樹脂が流動可能

⇒ 積層と樹脂の硬化が同時進行する

 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

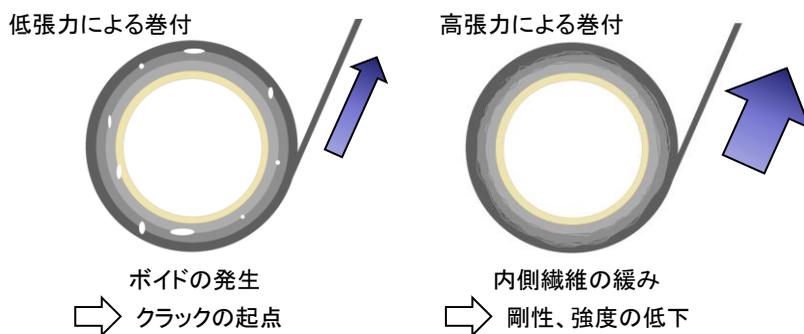
内部加熱方式の概要



九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要



内部加熱による効果

- ・同時硬化による繊維のゆるみ防止
- ・繊維の高張力化による気泡の除去
- ・樹脂の粘度低下による余分な樹脂の排出

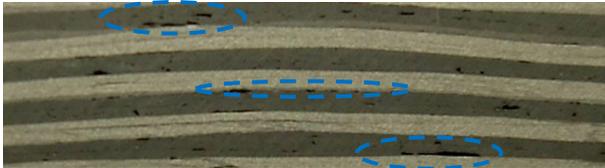
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

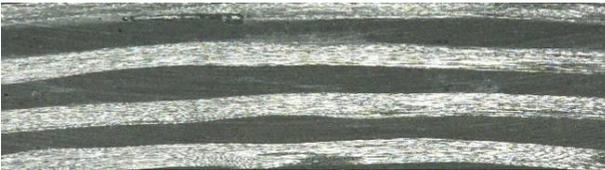
光学顕微鏡によるCFRP片の観察

従来型容器



層間ボイドが多い

本技術による容器



層間が密着

 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

長尺蓄圧器の試作



Φ260×L5000の長尺（アスペクト比:19）のライナー

 九州大学

HY30にて展示中

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

バースト試験



九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式+DRY法による 複合蓄圧器製造に関する研究

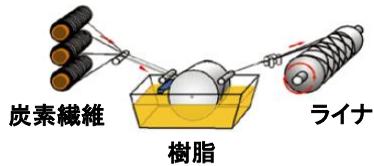
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

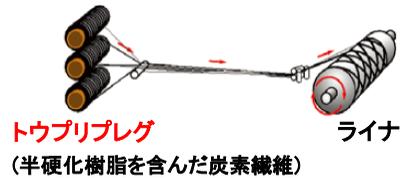
DRY法による複合蓄圧器製造

●CFRPタンク成形方法の違い

WET法



DRY法



DRY法の長所

- ・CFRP内の樹脂量を調整しやすい
- ・樹脂含浸の手間が省け、高速なFWが可能

DRY法の短所

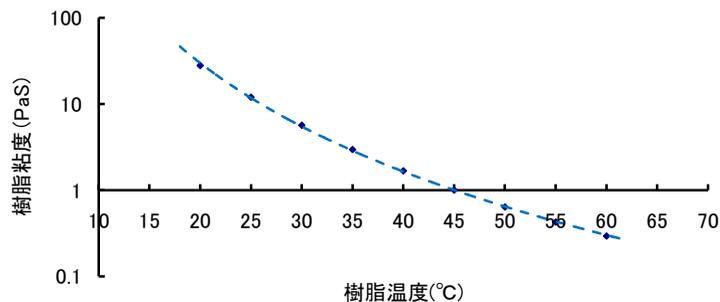
- ・層間、繊維間の接着性が悪い
- ・ポイドが生成されやすい

一般的にFWにおいてDRY法はWET法の物よりも破裂強度が低い

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

内部加熱方式の概要

・温度と樹脂粘度の関係



- ・室温(25°C付近)では10Pa·S
- ・0.3Pa·S以下なら繊維間に樹脂が流動可能

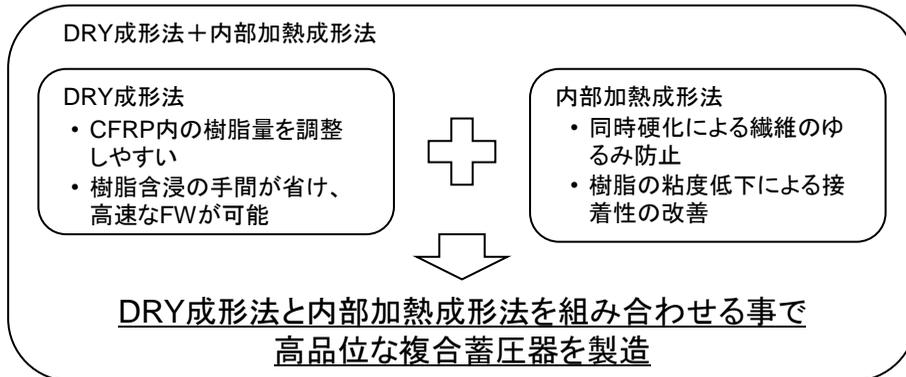


60°C以上で粘度は0.3Pa·S以下に低下

粘度の例(20°C時)
 水……0.001Pa·S
 灯油……0.01Pa·S

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

研究目的



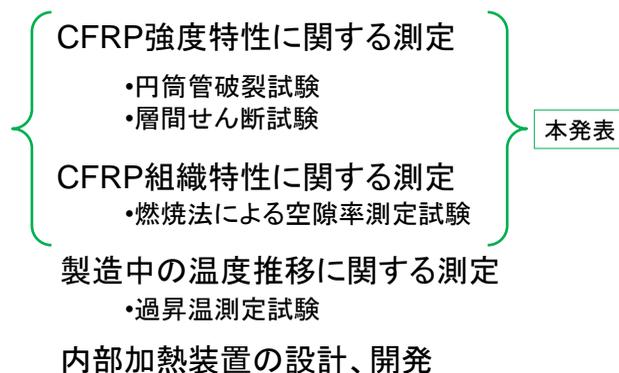
本研究では、DRY成形法と内部加熱成形法を組み合わせた場合の特性を明らかにし、最終的にはDRY法+内部加熱成形法を用いた高品位な複合蓄圧器の製造を目的とする

 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

発表概要

● 内部加熱方式 + DRY法による複合蓄圧器製造に関する研究


 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

円筒管破裂試験

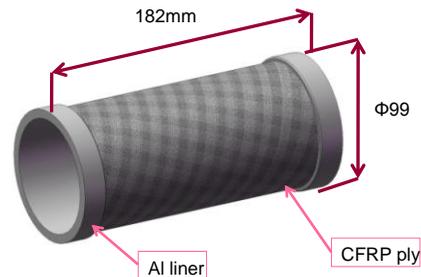
目的

•本試験はDRY法に内部加熱方式を用いた場合、内部加熱方式がCFRPパイプ破裂圧力にどのような影響を及ぼすかを測定する

- ① ライナ材質にはアルミライナを用いる
- ② CFRP層は3層とする
- ③ ヘリカル巻き (積層角70°)

Material	Aluminum
Inner Diameter(mm)	95
Outer Diameter(mm)	99
Length(mm)	182

Material	Carbon Fiber
Young's modulus(GPa)	290
Tensile Strength (MPa)	6047



 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

円筒管破裂試験

円筒管試験体製作条件

内部加熱成形(SPWC)…… 巻付け時80°C、硬化時130°C-2h
従来成形(Normal)……… 巻付け時室温、硬化時130°C-2h

・試験片

DRY法

- ・樹脂含有量(RC: Resin Content)を変えた4種
RC29,RC26,RC23,RC20

WET法

- ・汎用樹脂を用いる



上記のDRY法(4種)、WET法(1種)をそれぞれ内部加熱成形と従来成形を組み合わせ計10種の試験片を製作し、破裂圧力の測定を行う

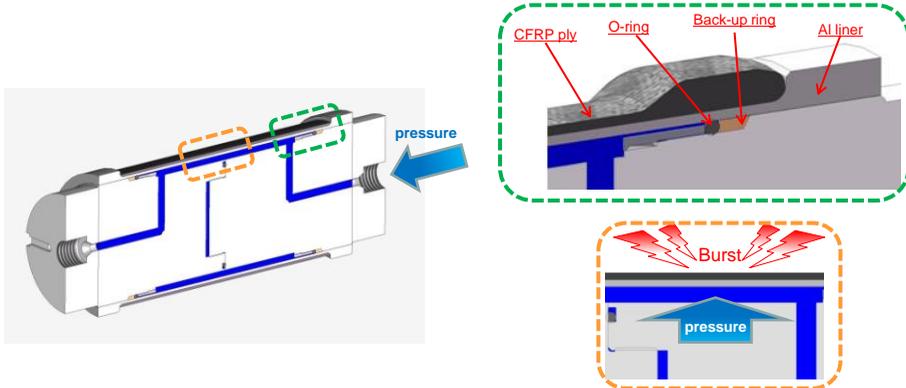
 九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

円筒管破裂試験

・バースト試験器具

- ① 試験体には両側から水圧をかける
- ② CFRP層が破裂するまでの圧力を測定する
- ③ ジグはオープンエンドとし、試験片には円周方向のみに力が作用する



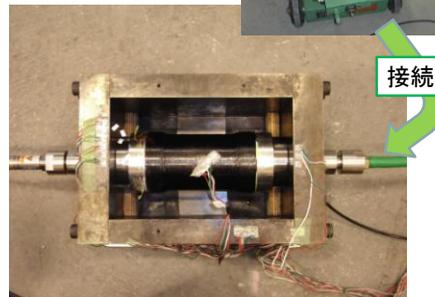
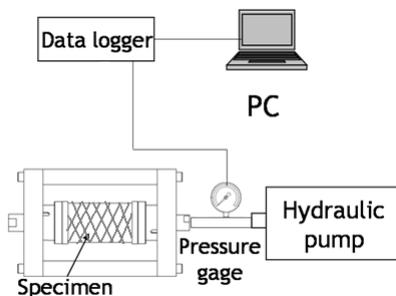
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

円筒管破裂試験

・バースト試験器具

- ・試験体にはデータロガーを介してPCと接続されている
- ・電動ポンプ (Max.196MPa) により昇圧する

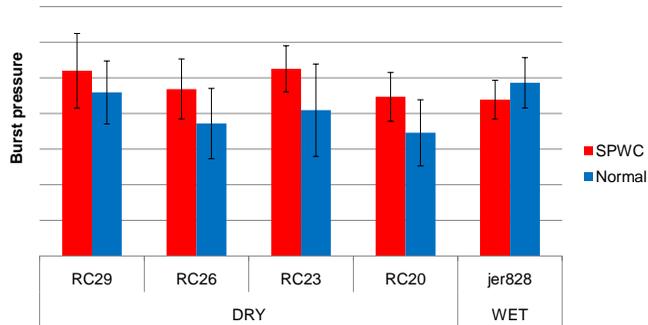


九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

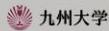
円筒管破裂試験

・円筒管破裂試験結果



- ・DRY法において全RCにおいて、内部加熱成形により破裂圧力が向上している
- ・WET法では破裂圧力が低下している

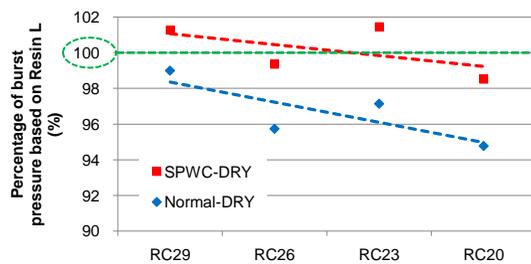
SPWC: 内部加熱成形(内部加熱あり)
Normal: 従来成形(内部加熱なし)



内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

円筒管破裂試験

Wet法とDry法の試験結果の比較

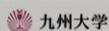


- ・従来成形の場合、WET法よりも低い破裂圧力を示す(他の文献と同じ傾向)
- ・内部加熱成形を用いた場合、WET法よりも高い破裂圧力を示す



内部加熱方式とDRY法を組み合わせる事で、従来よりも高圧に対応した複合蓄圧器を製造できるようになる

SPWC: 内部加熱成形(内部加熱あり)
Normal: 従来成形(内部加熱なし)



内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

燃焼法による空隙率測定試験

・目的

本試験は燃焼法を用いて内部加熱方式がCFRP内のボイド率等の体積割合にどのような影響を及ぼすかを調べる

・燃焼法

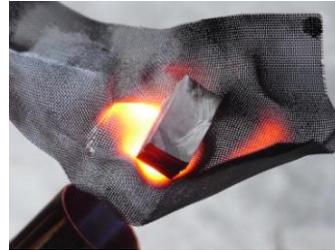
「炭素繊維強化プラスチックの繊維含有量及び空洞率試験方法」 JIS K7075

CFRPを燃焼させ、燃焼前重量と燃焼後重量とそれぞれの比重から、体積割合を測定する

・試験片

DRY法ではRC値を変えた4種(RC29,RC26,RC23,RC20)それぞれN数は10とする

上記の試験法と試験体から
繊維体積割合(Vf)、空隙率(Vv)を測定する

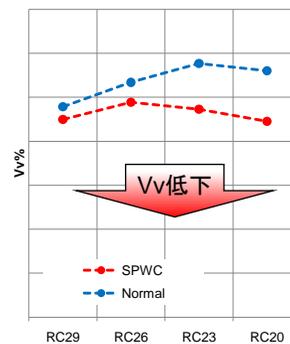
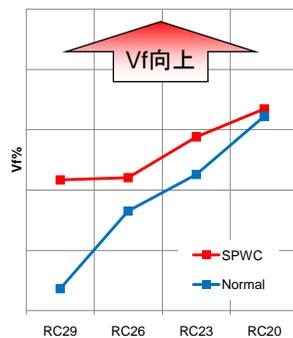


九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

燃焼法による空隙率測定試験

・試験結果



- ・DRY法において、RC値が小さくなるにつれ、Vfが増加する
- ・内部加熱成形は従来成形よりもVvが小さくなる

SPWC: 内部加熱成形(内部加熱あり)
Normal: 従来成形(内部加熱なし)

九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

層間せん断試験

目的

本試験は内部加熱方式がCFRP内の層間せん断強さにどのような影響を及ぼすかを調べる

試験法

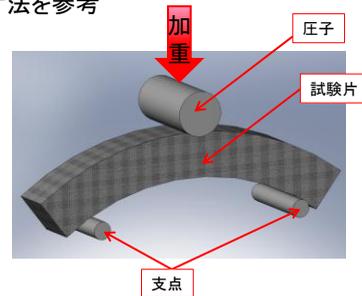
「炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法」 JIS K7078

本試験は板状の物に対して規定された試験法であるので、円筒形状に対しては規定されていない

⇒ JISに規定された試験片寸法、ジグ寸法を参考

試験片製作条件

- ・積層パターン: フープ16層(t= 約10mm)
- ・FW速度: 60rpm
- ・張力: 3種類
- ・内部加熱成形温度: 80°C
- ・硬化条件: 130°C、2.5hr
- ・N数は3、または4とする

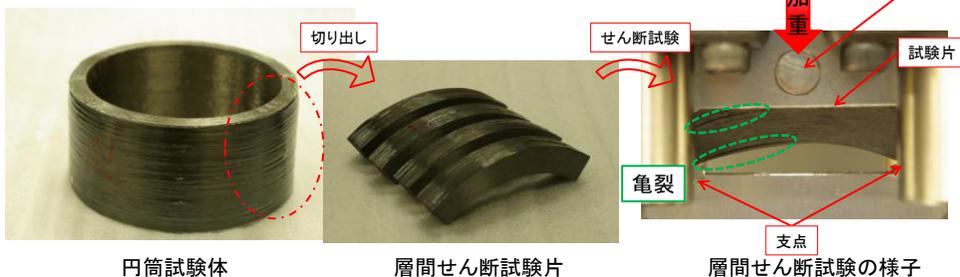


九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

層間せん断試験

試験片、及び試験の様子



測定結果

- ・破壊が生じると試験片に亀裂が入る
- ・ピーク加重を破壊加重として測定し右式のようせん断強さを算出する(JIS7078の式を使用する)

$$T = 3/4 \times P / (b \times h)$$

T: せん断強さ(MPa)

b: 試験片幅(mm)

P: 破壊加重(kgf)

h: 試験片厚(mm)

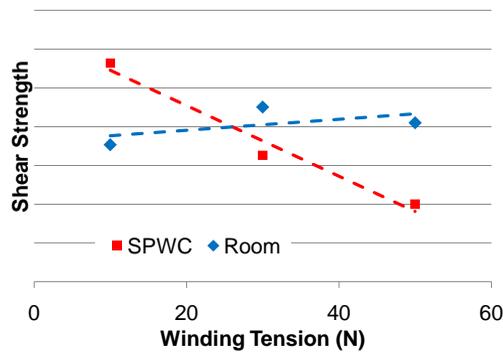
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

層間せん断試験

測定結果

測定した各円筒試験体の層間せん断強さと巻き付け張力の関係を下のグラフに表す



室温成形体は繊維張力によらずほぼ一定の値を示しているが、内部加熱成形体は繊維張力が増えるにつれ、せん断強度が下がっている。

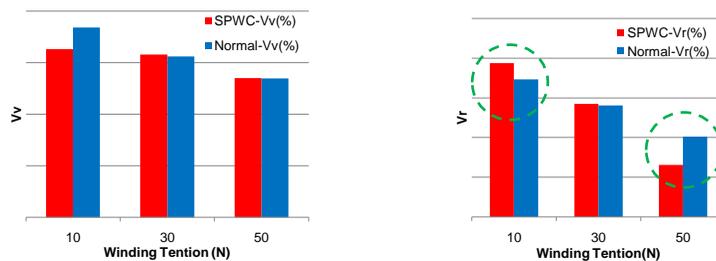
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

層間せん断試験

測定結果

測定した各円筒試験体の燃焼法による体積割合測定結果



空隙率は内部加熱成形、室温成形ともに高張力では差が見られない。
樹脂体積割合は高張力に従って、内部加熱成形では著しく減少。



層間せん断強度にはCFRP中の樹脂量が大きく影響を及ぼすと考える

九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

考察、および課題と予定

・円筒管破裂試験より

内部加熱方式を用いる事で破裂強度が向上した

⇒ 空隙率の低下や層間の馴染み性向上により破裂強度が向上

・せん断試験

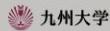
内部加熱方式を用いる事でせん断強度は向上するが、高張力では低下する

⇒ 空隙率よりも樹脂量がせん断強度には影響を及ぼす

積層厚さや積層パターンにより傾向がある。

それらの交互関係をより詳細に検証し、CFRP強度を向上させる条件を探す。

DRY成形法と内部加熱成形法を組み合わせた複合蓄圧器を製作し
その強度を測定する



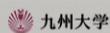
九州大学

内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究

謝辞

本研究は新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)様の委託によるものでありサムテック株式会社様、およびJX日鉱日石エネルギー様と実施しております「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発-低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発」事業の成果を一部含んでおります。

ご協力頂いております皆様へ、ここに感謝の意を表します。



九州大学