



ユニット設立報告会
2023年4月17日
第1会議室 & オンライン

超伝導・低温工学ユニット

Applied **S**uperconductivity & **C**ryogenics Unit
(ASC Unit)



ASCユニットメンバー (50音順)

総勢13名

芦川 直子	核融合炉工学、トリチウム工学
今川 信作	マグネット工学, 核融合工学
小野寺 優太	超伝導工学
尾花 哲浩	超伝導工学
高田 卓	低温工学
高畑 一也	超伝導工学、低温工学
田村 仁	構造・材料力学
力石 浩孝	電力変換工学
成嶋 吉朗	超伝導工学、プラズマ核融合理工学
濱口 真司	低温工学
菱沼 良光	超伝導材料工学、金属材料工学
平野 直樹	超伝導工学、低温工学
柳 長門	プラズマ核融合理工学、超伝導工学

核融合としての課題

高磁場大型超伝導マグネットを高い信頼性のもとで運転するための要素技術の確立

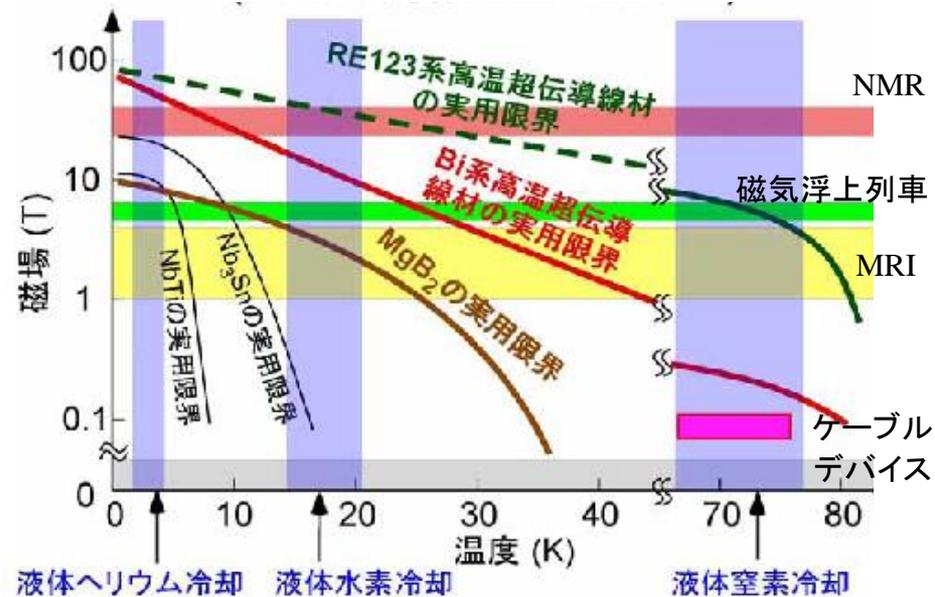
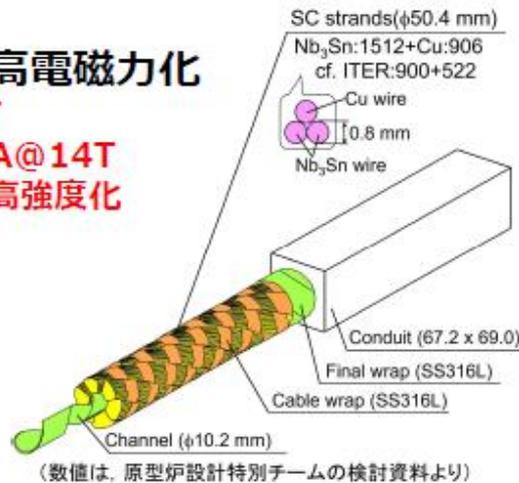
- ✓ 超伝導線を集合した導体、コイルの高い信頼性を得るための基本技術はまだ発展途上
- ✓ ITER以降の高磁場化要求を満たす新材料に期待
- ✓ 脆性材料であり、R&W製法に対応できる基礎研究が必要
- ✓ 大型コイルの冷却方法も検討要

大電流化・高電磁力化

68kA@11.8T

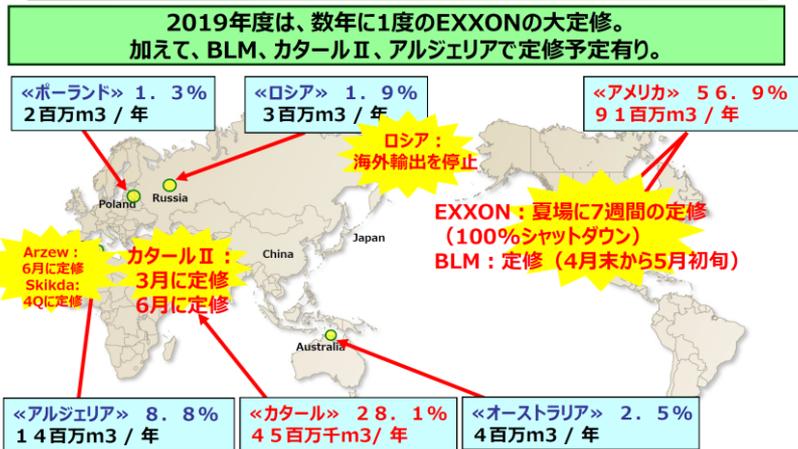
→ 83kA@14T

✓ 高 J_c 化及び高強度化



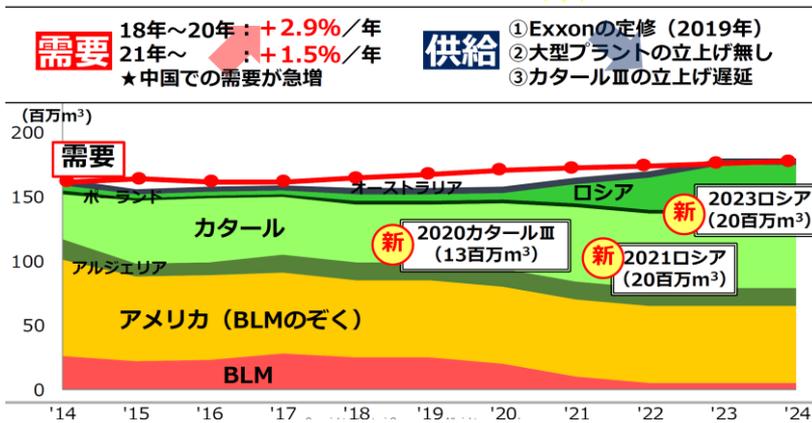
ヘリウムから水素へ —ヘリウム供給危機からの脱却—

2019年におけるヘリウム供給事情



世界需給 予測

2017年～2022年 需給環境がタイトになる懸念



資料提供: 岩谷産業

時代背景

- 世界的なヘリウム供給不安定の懸念
- ヘリウムを生産できるガス田は6ヶ国しかない
- 従って、国際情勢の影響を受けやすい
- 最大の生産地は米国(シェア50%以上)
- 生産設備の故障や民間への供給制限により供給能力が低下
- 一方、中国を中心としてメモリーなどの半導体増産により需要が増加

将来展望

- 運転温度が高い超伝導コイル(高温超伝導コイル)を用い、液体水素も冷却に用いる選択肢に加えることで、この問題を解消

超伝導コイルを冷却する冷媒として
ヘリウムのみから水素も選択へ



ASCユニットの目指すもの

核融合発電の社会実装

ITER、原型炉への貢献

LHD研究

MRI SMES
機器冷却応用

高効率冷却研究

磁気冷凍

温度可変低温設備

SHe研究

安定化研究

検査手法研究

電磁気学的
理解研究

クエンチメカニズム
研究

超極細線材研究

低温研究

大口径試験設備

応力試験設備

高温超伝導

MgB2

Nb3Sn

Nb3Al

BI2212

ReBCO

導体試験設備

金属超伝導

各種特性評価設備

超伝導研究

材料研究



ASCユニットの研究活動方針

これまでNIFSが行ってきた超伝導工学・低温工学研究を整理し、持続可能社会変革に向けた新たな超伝導・低温工学研究に再構築。

持続可能社会における超伝導システムの出口戦略を明確にし、超伝導技術の社会実装に向けた研究開発を実施。

学術的研究拠点として、超伝導マグネット研究棟が現有する温度可変低温システムなどを用いた各種低温実験環境を、産学連携等の様々なユーザーへ提供。

持続可能社会を実現するための達成目標（SDGs）のクリーンエネルギーとして位置付けられる「水素」を液体水素として運用する実績を積み、その安全性を含めた社会受容性を高め、水素社会の実現に貢献。

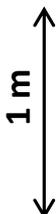


NIFSの代表的な超伝導評価設備

小型超伝導試験装置
(-200°C (液体窒素)、
磁場なし)



短尺超伝導
1 m 試験



短尺超伝導 (3 m)
試験

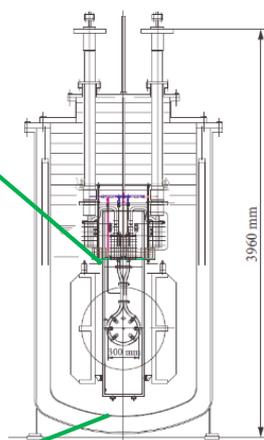


3 m

大型超伝導超伝導試験装置
(温度可変、磁場 9 テスラ)

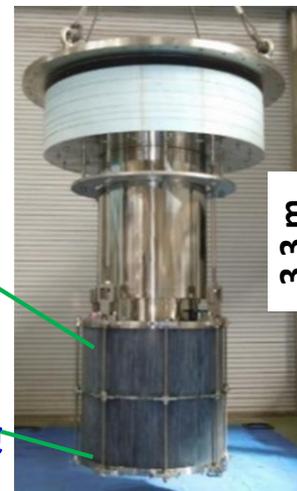


短尺超伝導 (2~3 m) 試験



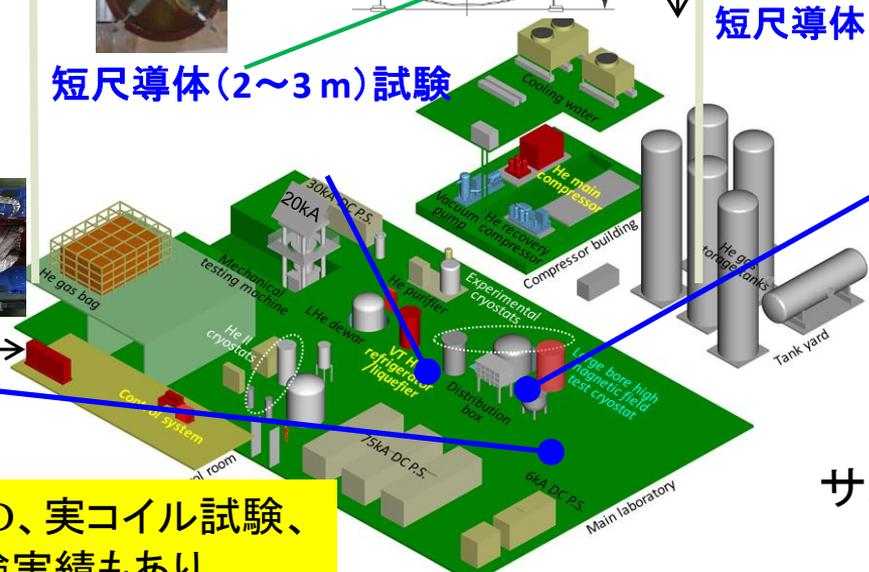
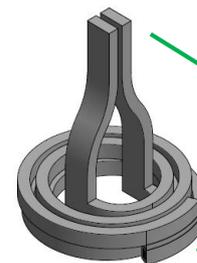
4 m

大口径高磁場超伝導試験装置
(温度可変、磁場 13 テスラ)



3.3 m

短尺超伝導 (3~10 m) 試験



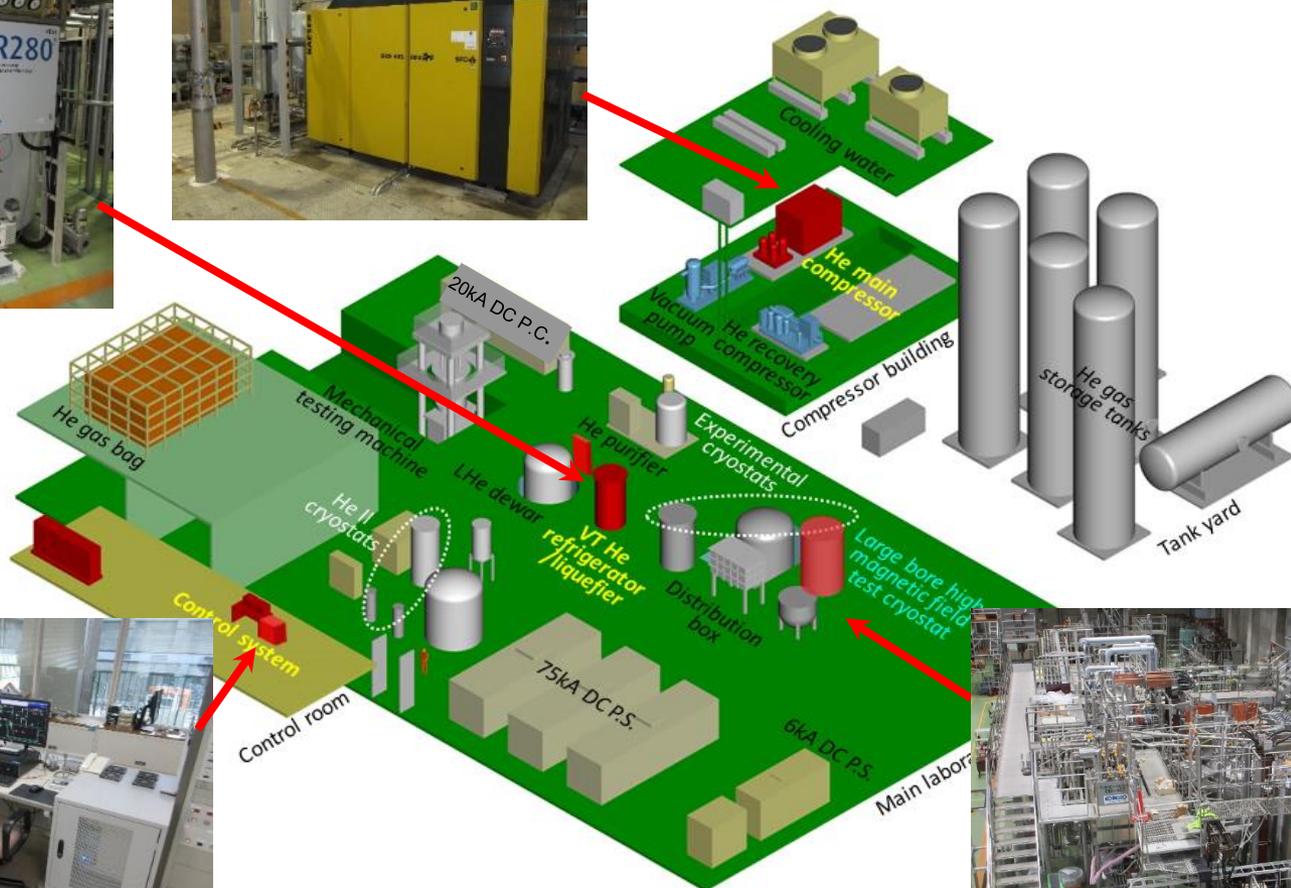
サンプル直流通電可能容量
6,20,75 kA

ITER や JT-60SA の R&D、実コイル試験、
実超伝導接続部の評価試験実績もあり、
ITER / BA プロジェクトに多大なる貢献



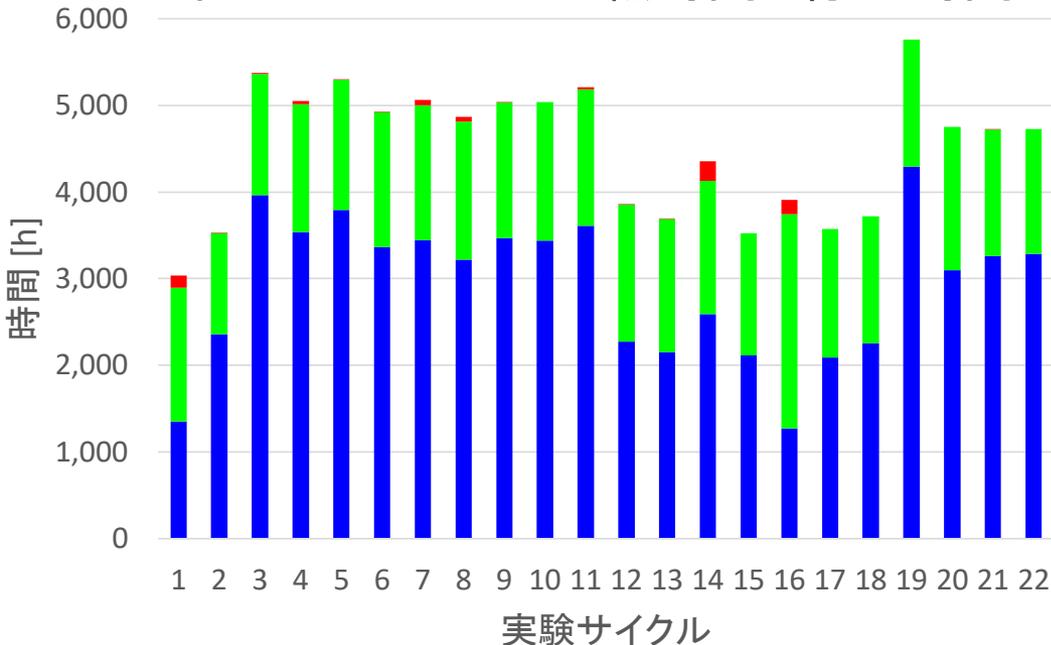
温度可変低温設備

冷凍能力600W at 4.5K
ヘリウム液化能力250L/h
超臨界圧ヘリウム供給流量50g/s 350W at 4.55K
温度可変冷媒供給能力1.0kW at 20-30K
1.5kW at 40-50K



ヘリウム液化システムの長期高稼働率運転実績

LHD低温システムの運転時間と停止時間



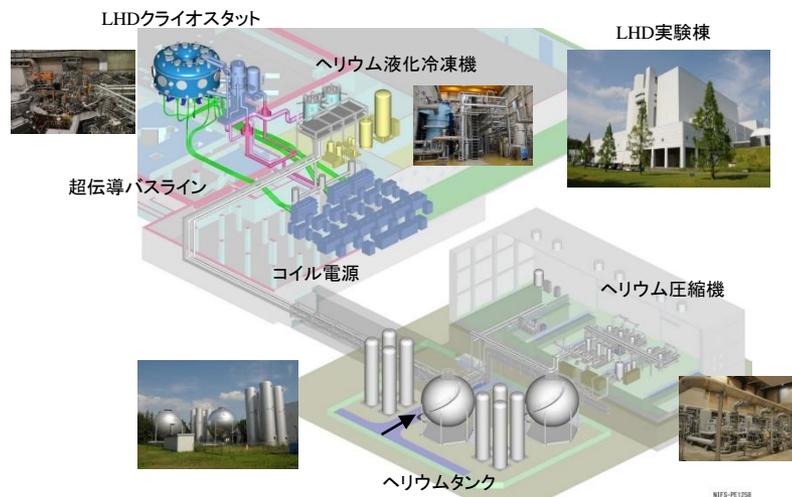
■ 定常運転 (h) ■ 精製/予冷/加温 (h) ■ 停止時間 (h)

運転時間: 98,267時間

定常冷却: 64,229時間

停止時間: 743.2時間

稼働率 (実運転時間/運転時間(計画)) = 99.2%



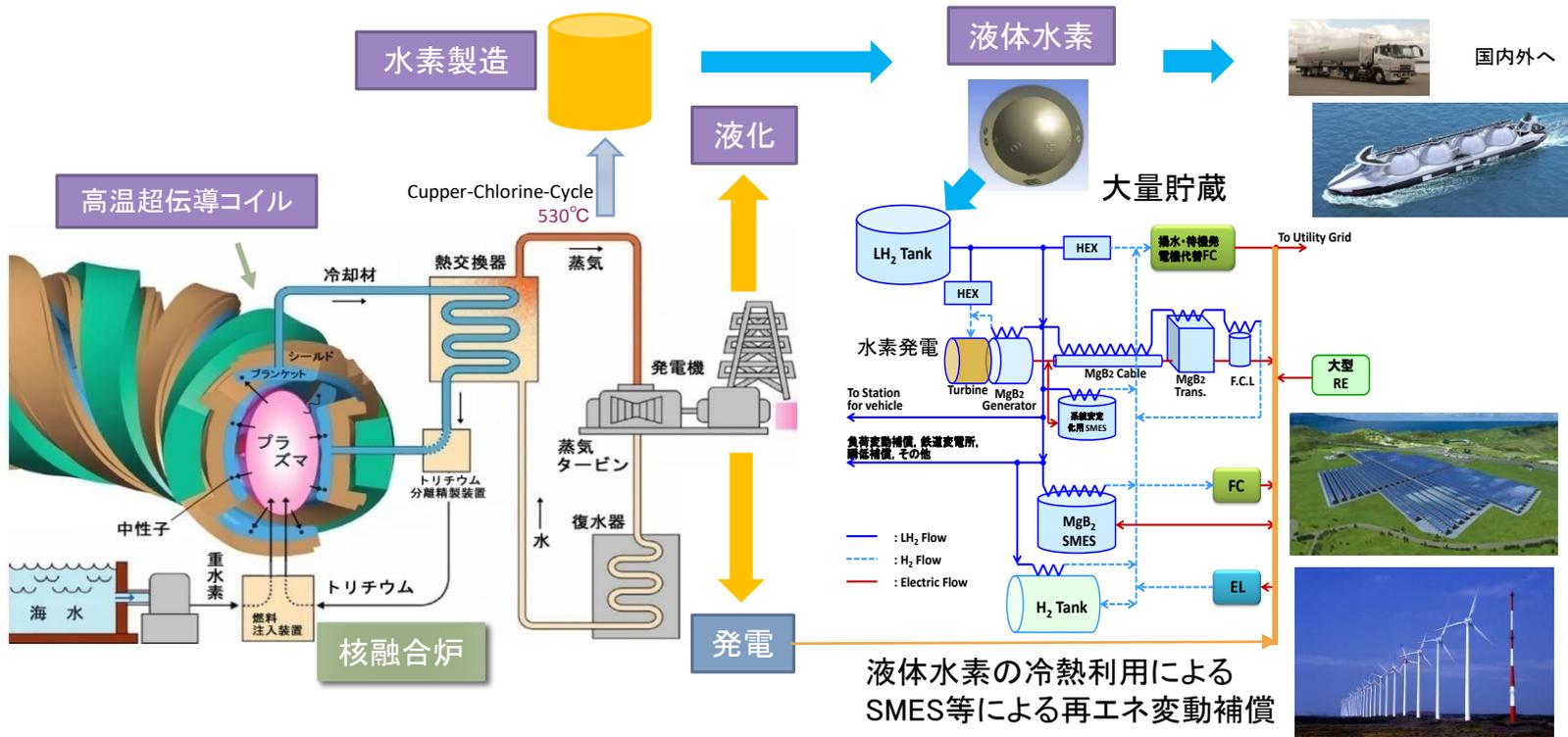
LHD超伝導低温システムの構成

長期連続運転で得られた様々なデータ、ノウハウを整理・解析

同様の大型システム(科学技術用、一般産業用)の構築に寄与
完全無人水素液化機の開発

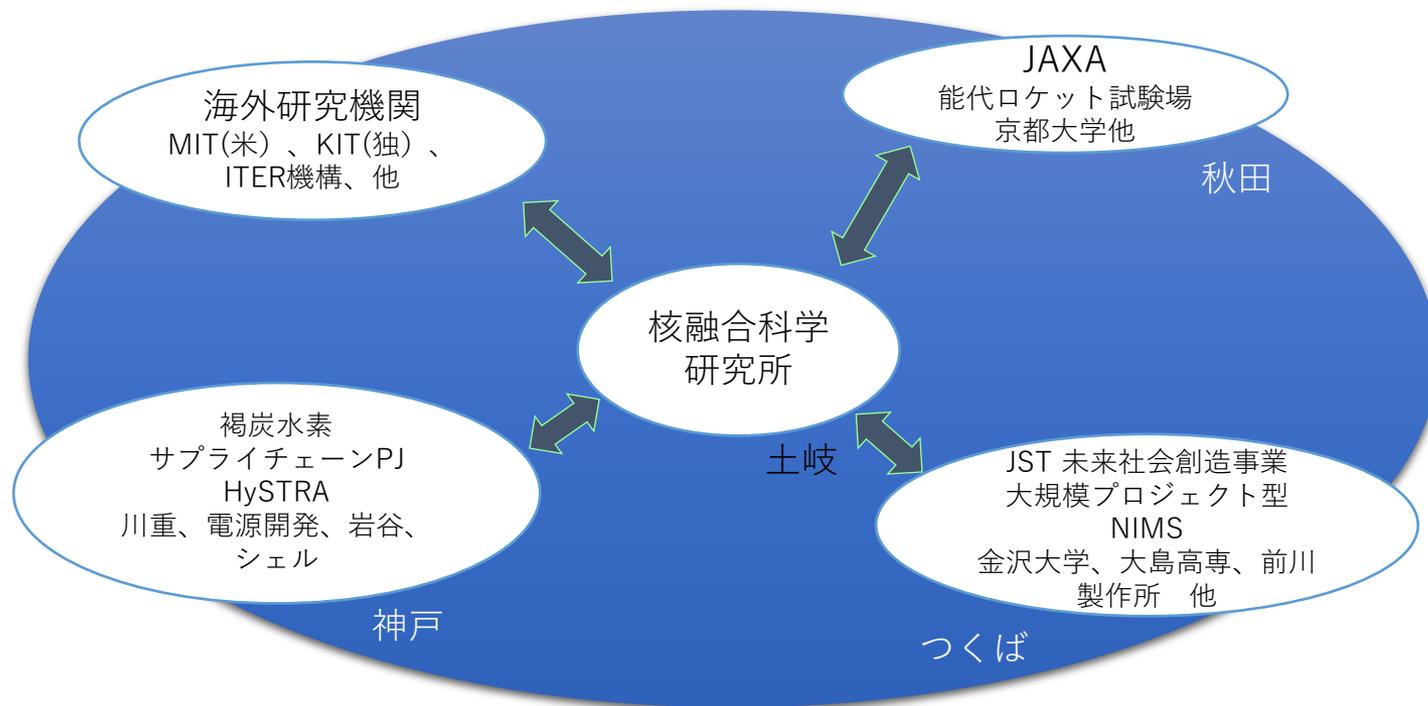
核融合と水素

「水素」は一昨年10月に策定された第6次エネルギー基本計画にも、明確に研究開発すべきエネルギー源として明示
 液体水素は核融合（超伝導・低温工学）と親和性が高い



液体水素研究開発拠点

液体水素研究開発のネットワークのハブ的な存在として、基礎研究から社会実装に向けた試みのゲートウェイ的な役割を担う。



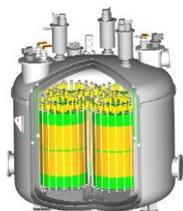
超伝導技術の社会実装

MgB₂を含めた高温超伝導マグネットの信頼性及び汎用性を高める研究開発を展開し、社会実装を図る。

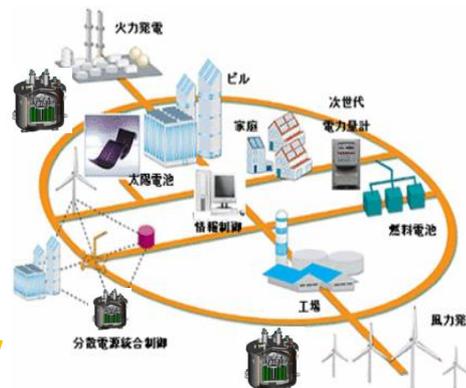


加速器マグネットへの適用

- ・医療用
- ・核種消滅応用



MJ級瞬低補償
高温SMESへの適用



核融合炉への適用

再生可能エネルギーの
発電変動補償用100MJ級
SMESへの適用



Y系コイル



MgB₂コイル

産業用マグネットへの適用

- ・誘導加熱
- ・磁気分離

電動航空機用
超伝導推進モータへの
応用



出典: AIRBUS社



学際的展開

超伝導・低温工学は、ITERの実現や加速器、高分解能NMR等のビッグサイエンスを支える機器の発展に貢献。

高い安全性及び信頼性に基づく超伝導技術が拓く高磁界利用の世界は、様々な分野への応用が可能

素粒子・天文（宇宙）・医療・輸送・エネルギーなど

液体ヘリウムに加えて液体水素等の寒剤の選択枝が広がることで、思いもつかないような学際領域と連携

- ・高温SMESによるSDGsへの貢献
- ・極低温冷却量子コンピュータ等の量子技術の開拓に寄与

核融合の早期社会実装につながるだけでなく、量子技術を研究する大学共同利用機関の拠点として発展する可能性



実施体制

本ユニットで取り組む研究課題を、

- ・超伝導導体・コイルに関する研究
- ・低温工学に関する研究
- ・先進超伝導線材に関する研究

に大別し、この3つのカテゴリーに研究者をグループ化(重複可)

それぞれの研究課題についてマイルストーンを明確にして研究活動を推進

ASCユニットの独自性、優位性

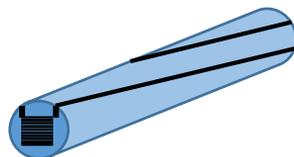
1) 核融合コミュニティにおける超伝導工学の拠点形成

核融合炉用高温超伝導導体・コイル評価機関としての優位性
大容量高温超伝導導体の試作と温度可変での特性評価実績

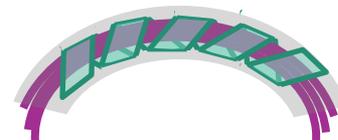
① 単純積層型
STARS 導体



② 積層撚線型 FAIR 導体



③ 低融点金属含浸型
WISE 導体



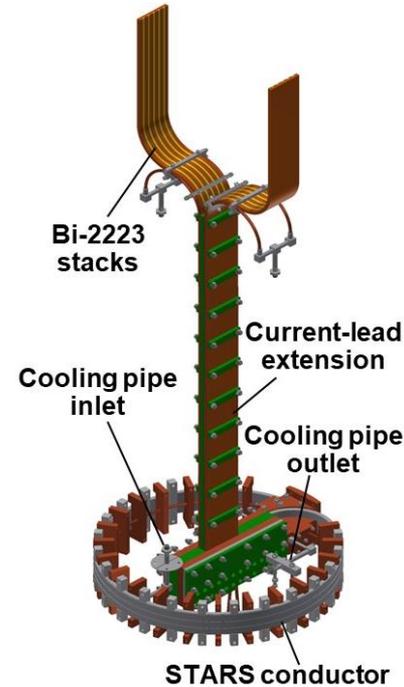
ASCユニットの独自性、優位性

1) 核融合コミュニティーにおける超伝導工学の拠点形成

3種類の大電流導体の開発を進め、特に単純積層型 **STARS 導体** では全長 6 m のソレノイドコイル形状において **18 kA @ 20 K, 8 T の運転条件を 1 kA/s の高速掃引で達成**

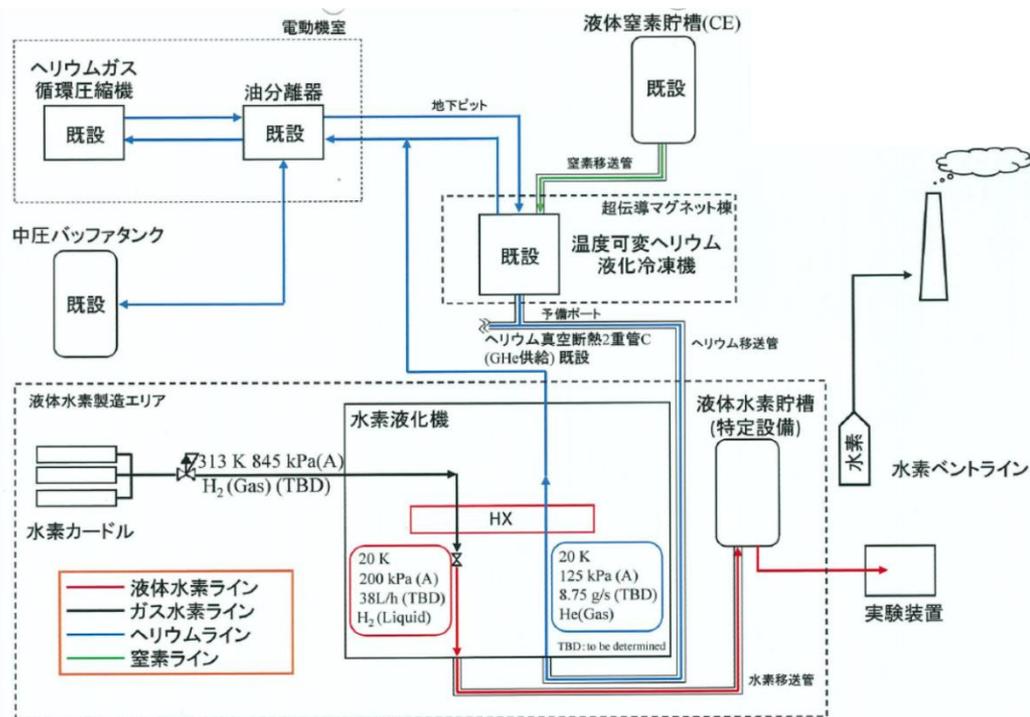
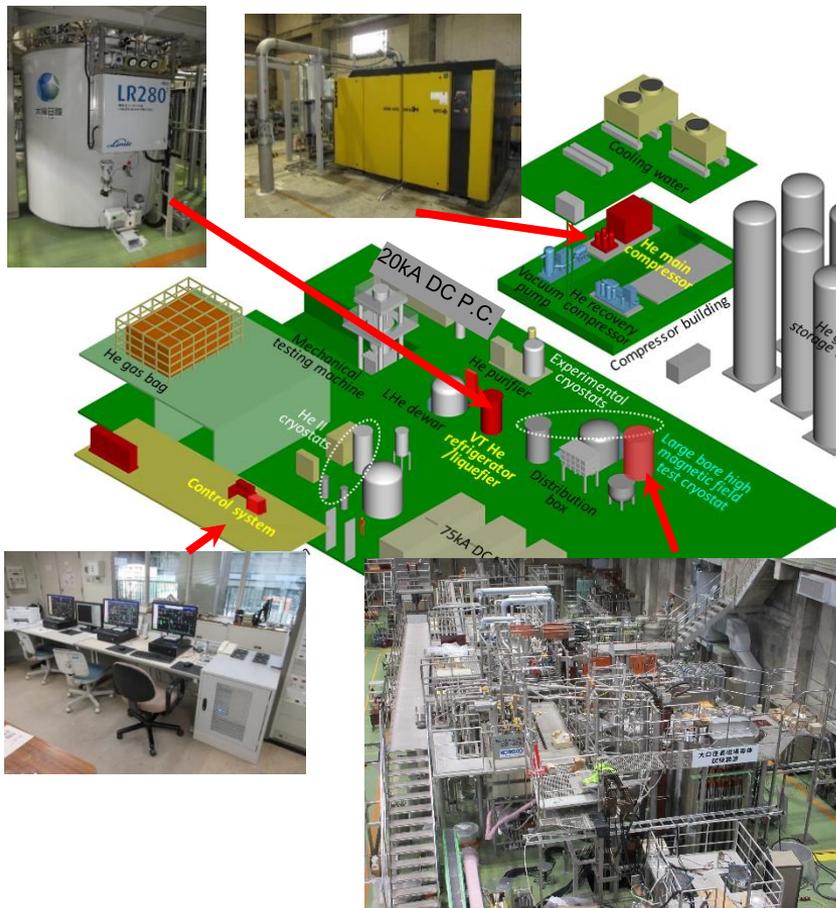


次世代核融合実験装置や核融合炉に適用可能なことを提示
今後、大型コイルを製作して、**完全実証・確立**



- 強固な構造で耐電磁力特性に優れていることが特長
- テープ形状線材の単純積層構造による非一様電流分布形成でも高温超伝導では安定に使えることを提唱

温度可変低温設備(超伝導マグネット研究棟)



水素液化改造系統図

既設設備改造で約40L/hの水素液化が可能

液体ヘリウム環境、液体水素環境両者を同時に持つ多彩な低温環境を実現できる独自性の高い研究拠点となり得る。

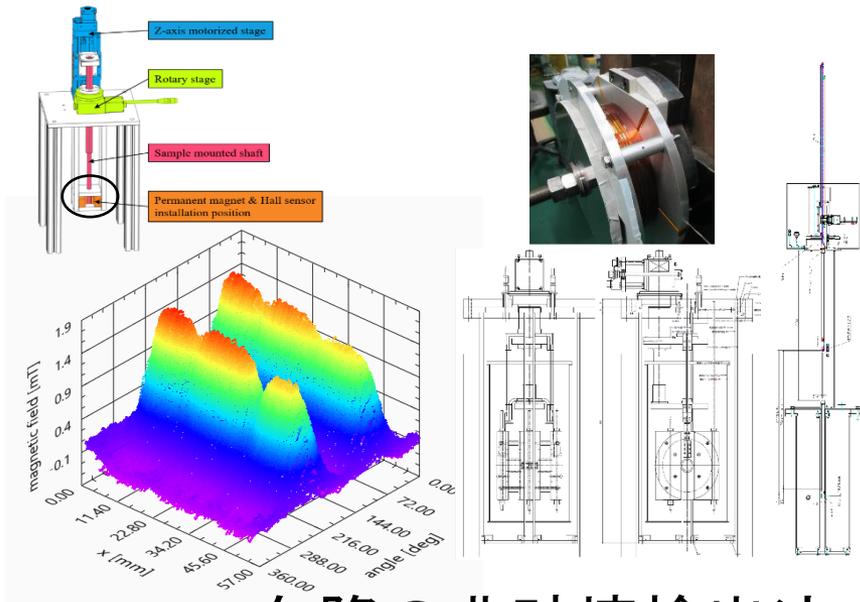
ASCユニットの独自性、優位性

2) 超伝導・低温分野における立ち位置

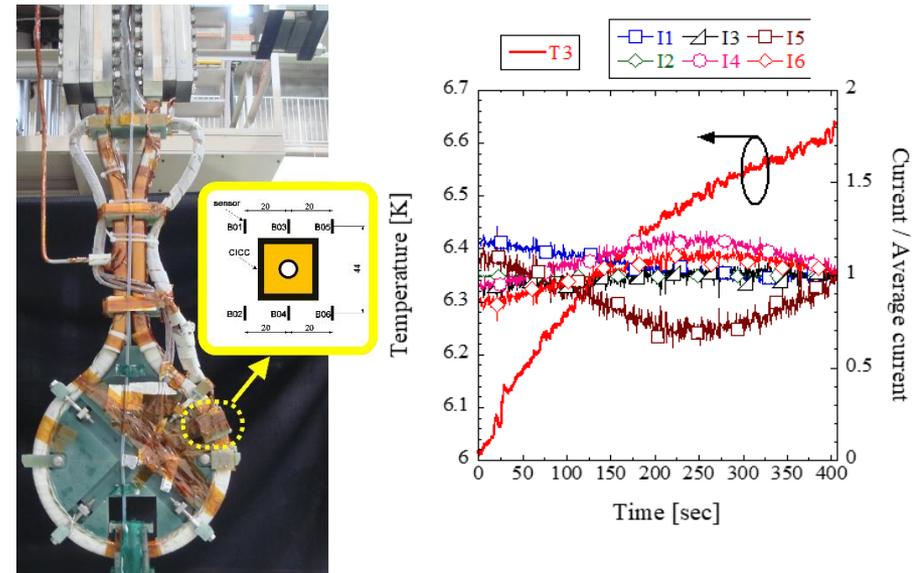
＜超伝導マグネット研究＞

超伝導素線の劣化検出や超伝導機器の故障時の焼損回避などは世界中で解決すべき重要事項。

NIFS独自の非破壊検査手法や電流分布計測等の超高感度検出技術を用いた超伝導素線や超伝導機器の異常検出。



欠陥の非破壊検出法



導体の電流分布計測



ASCユニットの独自性、優位性

2) 超伝導・低温分野における立ち位置

＜低温研究＞

低温研究実績を礎に、超伝導素線から大電流導体までの冷却安定性、多孔質や狭路—拡大路における熱流動、沸騰—疑似沸騰現象等の低温物理の基礎研究の基盤が整備。

液体水素の安全性や社会受容性の課題に対し、液体ヘリウムで培った実績を基に基礎物性等の研究を展開。

液体水素の冷熱利用や超伝導機器冷却標準化の先駆け。

核融合の新規出力形態を検討するユニットとも緊密に連携。

IEC/TC90超電導委員会の技術委員会国内WG12において、超伝導機器の冷却システムの国際標準化に向けた活動を行っている。

国内WG12委員: 三戸利行(委員長、核融合研)、前畑京介(九州大学)、山田豊(東海大)、
新富孝和(高エネ研) 淵野修一郎(産総研)、平野直樹(核融合研)、筑本知子(中部大)、
池内正充(前川製作所)、平井寛一(大陽日酸)、李瑞(住友重機械)、渡部充彦(住友電工)

オブザーバー: 奥山 昂(アルバッククライオ)

事務局: 向山晋一(電線工業会)

IEC/TC90 国内組織 (2022~)

IEC/TC90超電導委員会

事務局：
日本電線工業会 (国内審議団体)

運営委員会

技術委員会*

JIS原案作成委員会***

JISWG13***

企画委員会*

- WG1* 超電導関連用語
- WG2* Nb-Ti線 I_c 試験方法
- WG3* 酸化物超電導線 I_c 試験方法
- WG4* 超電導線RRR試験方法
- WG5* 超電導線機械的特性試験方法
- WG6*** **超電導線銅比試験方法**
- WG7*** **Nb₂Sn線 I_c 試験方法**
- WG8* 電気的特性測定方法
- WG9* 交流損失試験方法
- WG10* バルク体補足磁束密度試験方法
- WG11* 臨界温度試験方法
- WG12*** **電流リード、冷却システム方法**
- WG13*** **実用超電導線**
- WG14* 超電導センサ

超電導ケーブル技術査委員会**

赤字はNIFSが委員長
下線はNIFSが委員参加

委員：約100人
大学：約40人
研究機関：約30人
企業：約30人

オブザーバ
経産省
日本規格協会

委員長
WG6: 菱沼良光
WG12: 三戸利行

*: JKAからの補助事業：「超電導国際標準化の推進に関する補助事業」

**：MRI委託事業：「戦略的国際標準化加速事業（政府戦略分野に係る国際標準開発活動）
（超電導ケーブルの臨界電流測定方法に関する国際標準化）」

***：日本規格協会：「平成31年度JIS原案作成公募制度
（「JIS H 73XX 超電導—実用超電導線材の試験方法の通則」の制定）」



ASCユニットの独自性、優位性

2) 超伝導・低温分野における立ち位置

<超伝導材料研究>

- 超伝導材料のイノベーションは核融合だけでなく、種々のビッグサイエンスの世界を変革する可能性
- そもそも、超伝導材料は省エネ・省電力等のSDG's社会実装目標に対して親和性が高い。

超伝導の社会実装が中々進んでいない状況……。

要因: 高温超伝導(Y系)はテープ形状で交流損失が大きい

Nb₃Snや高温超伝導(Bi系)は化合物であり、機械強度が低い。

高コスト

低い信頼性・汎用性に乏しい。

⇒ 応用範囲・製法が限定的

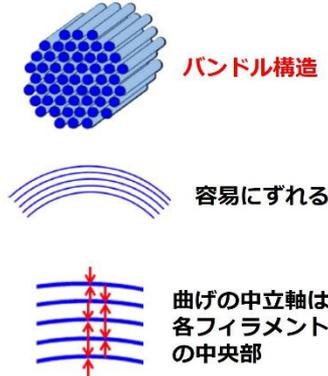
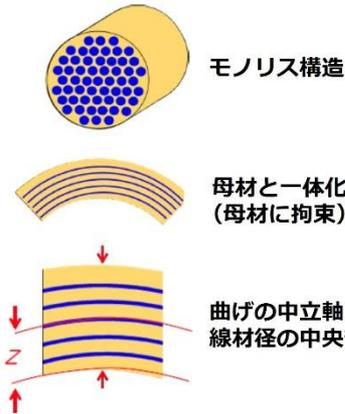
SDG'sやビッグサイエンスへの幅広い適用を目指して、「**取扱易い超伝導材料**」による信頼性・汎用性を高める研究開発を展開。

独自性, 優位性など

Nb₃Sn、Nb₃Alあるいは酸化物高温超伝導線材の超極細加工が可能となれば……

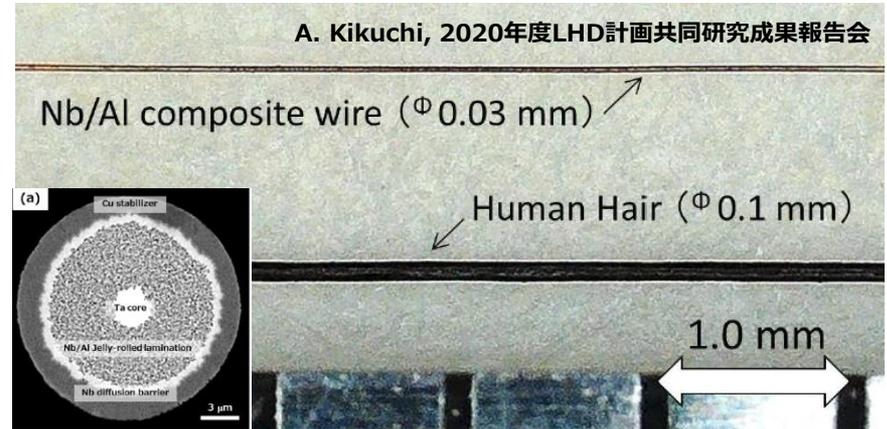
これまでの極細多芯線

超極細線 (新概念)



- ✓ 可撓性を利用した超高次撚線構造 (編組線)への期待。
(交流応用、量子応用、宇宙応用へ)
- ✓ **React & Winding**製法への期待。
- ✓ 均一な電流分布 (偏流抑制)への期待。
- ✓ 簡易的な間接冷却方式の採用が可能。

革新的な導体設計への期待



Confidential

- ✓ Nb₃SnやNb₃Alの超極細線及び撚線における特性評価
- ✓ **将来的に**20K運転可能な超極細線による導体化の検討 (ex. MgB₂等)



外部資金等の獲得を目指して

超伝導マグネット研究棟の現有設備を維持、あるいはアップグレードの為の研究資金が必要。

「超伝導システムの出口戦略」、「液体水素」などをキーワードとした国プロ等に積極的に提案、獲得し推進。

競争的研究資金の一例

JST関係

- ・戦略的創造研究推進事業
- ・未来社会創造事業

NEDO関係

- ・水素利用等先導研究開発事業
- ・脱炭素社会実現に向けた省エネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラム



ユニット研究戦略会議の所外委員(50音順)

雨宮 尚之	京都大学大学院工学研究科 電気工学専攻	超伝導工学
淡路 智	東北大金研強磁場センター	超伝導工学
石山 敦士	早稲田大学	超伝導工学
岡村 哲至	東京工業大学	伝熱工学、低温工学
小黒 英俊	東海大学	超伝導材料工学
神谷 宏治	物質・材料研究機構	低温工学
川越 明史	鹿児島大学	電気工学、超伝導工学
菊池 章弘	物質・材料研究機構	超伝導材料工学
木須 隆暢	九州大学大学院システム情報科学研究所	超伝導工学
西島 元	物質・材料研究機構	超伝導材料工学
谷貝 剛	上智大学	超伝導工学
吉田 隆	名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻	超伝導工学
王 旭東	高エネルギー加速器研究機構	超伝導工学



外部資金等の獲得を目指して

大型科研費やNEDO、JSTのプロジェクト採択を目指す。

- ・ 関係学会での関係強化
- ・ 産官学連携の強化
- ・ NIFS共同研究の活用

学会活動

電気学会

核融合電力技術調査専門研究会
全国大会 シンポジウム

低温工学・超電導学会

カーボンニュートラルに向けた核融合
研究の新展開に関する調査研究会

プラズマ核融合学会

学会誌の表紙に核融合と水素のイラスト

原子力学会

全国大会 シンポジウム

産官学連携

民間との共同研究、委託研究

東芝、三菱電機、前川製作所、テラル、大電、サンデン....

産業競争力会議

超電導で拓くカーボンニュートラル社会

一般共同研究

京大、東工大、上智大、鹿児島大、中部大、NIMS...

研究会

液体水素の冷熱利用に関する研究会

NIFS共同研究

液体水素の冷熱利用に関する研究会 設立趣旨

カーボンニュートラルで持続可能なエネルギー社会の構築を目指し、水素を利用する研究開発が盛んに行われている。今後、水素の大量消費を可能とするために、水素を液化し取り扱うことが考えられるが、現在、液体水素の持つ冷熱源としての活用するための研究開発は十分に検討されていない。核融合科学研究所では、次世代の核融合炉用の超伝導マグネットの研究として、より高磁場の運転が可能で、冷却も液体ヘリウムに頼らなくてもよい可能性を有した高温超伝導を用いたコイルの検討を始めている。この冷却に液体水素を活用できれば、冷媒資源確保の安定化や水素を燃料として利用する発電技術との組み合わせによる将来の電力需給調整技術の確立が期待できることから、SDGsの観点からも重要な研究課題である。そこで、液体水素の冷熱を有効に利用するために必要となる、**水素再液化技術や保冷技術、液体水素からの高効率伝熱技術、液体水素冷却超伝導機器応用等に関する最新の研究開発動向について情報交換する場を提供し、研究開発の促進を図ることを目的として研究会を発足させたい。**

令和4年度 液体水素の冷熱利用に関する研究会

開催日時：令和5年3月20日（月） 15:00～17:15

場所：核融合科学研究所 研究第1期棟209号室 + オンライン会議（Zoom）

参加費：無料

プログラム

13:30～15:00 核融合科学研究所内 見学

15:00～15:05 開会挨拶

15:05～15:30 超極細MgB₂超伝導線及びその撚線 (NIMS 菊池氏)

15:30～15:55 SMES用液体水素冷却MgB₂コイルの研究 (鉄道総研 恩地氏)

15:55～16:20 再エネ電源導入時の電力需給調整に適した液体水素冷却型
SMESシステム (東北大 津田先生)

16:20～16:45 液体水素冷却超電導発電機の開発 (関学 大屋先生)

16:45～17:10 総合討論（最近の研究開発状況の情報交換）

17:10～17:15 閉会挨拶



カーボンニュートラルに向けた核融合研究の新展開 に関する調査研究会【低温工学・超電導学会】

調査目的:カーボンニュートラルの観点から、核融合発電の早期実現への期待が高まっており、大型プロジェクトに加えてベンチャー企業による小型核融合発電炉の研究開発が進められている状況にある。一方で、既存の火力発電や将来の核融合発電などの大規模発電は、太陽光や風力発電など出力が変動する再生可能エネルギーによる発電と共存共栄を図ることが不可欠である。その一方策として、水素を媒介とした電力の需給調整技術がある。これまで、核融合で得られる熱は電気エネルギーとして利用することが前提であったが、核融合炉からの熱出力を利用して水素を効率よく製造できる可能性もあることから、**電気出力一辺倒であった核融合技術の新規出力形態を検討**することは、核融合技術の社会実装を目指す上で重要である。また、得られた水素を液体水素の形で取り扱うことで、その冷熱を超伝導機器の冷却に適用するなど有効活用でき、これによりSMESでの短時間繰り返しの電力需給調整を行うことが可能となる。加えて、液体水素による大容量エネルギー長期貯蔵により、今後、電力系統の安定化に求められる季節間の需給調整に寄与できることも期待される。本研究会は、上記の背景により、**核融合工学の関係者にとどまらず、電力系統の研究開発者や、水素研究開発関係者、熱マネジメントの関係者など、幅広い参加者で構成し、最近の核融合研究の状況把握やCO₂削減効果、競合技術とのコスト比較などの調査を行い、核融合技術の社会実装のあり方、新展開について深く議論することを目的とする。**



調査内容案(活動期間 2022年度～ 2024年度)

年2回程度、関係する題材での講演会を企画・開催

(2022年度)

国内外で進められている核融合研究の実情調査

核融合に対する競合技術調査

核融合も含めた将来電力システムにあり方に関する調査

(2023年度)

核融合炉の熱利用の可能性調査

将来の電力システムに対する核融合技術の連系による課題の調査

水素を利用した核融合と既存インフラとの連系の可能性調査

(2024年度)

想定される核融合発電コスト試算

カーボンニュートラルの観点での核融合技術の評価

核融合技術に対する社会受容性について



2022年度 第1回講演会

日時: 2022年7月14日(木) 13:30 - 17:10(予定)

場所: 核融合研(岐阜県土岐市)とZOOMのハイブリッド

参加費: 無料

申込期限: 2022年6月17日(金)

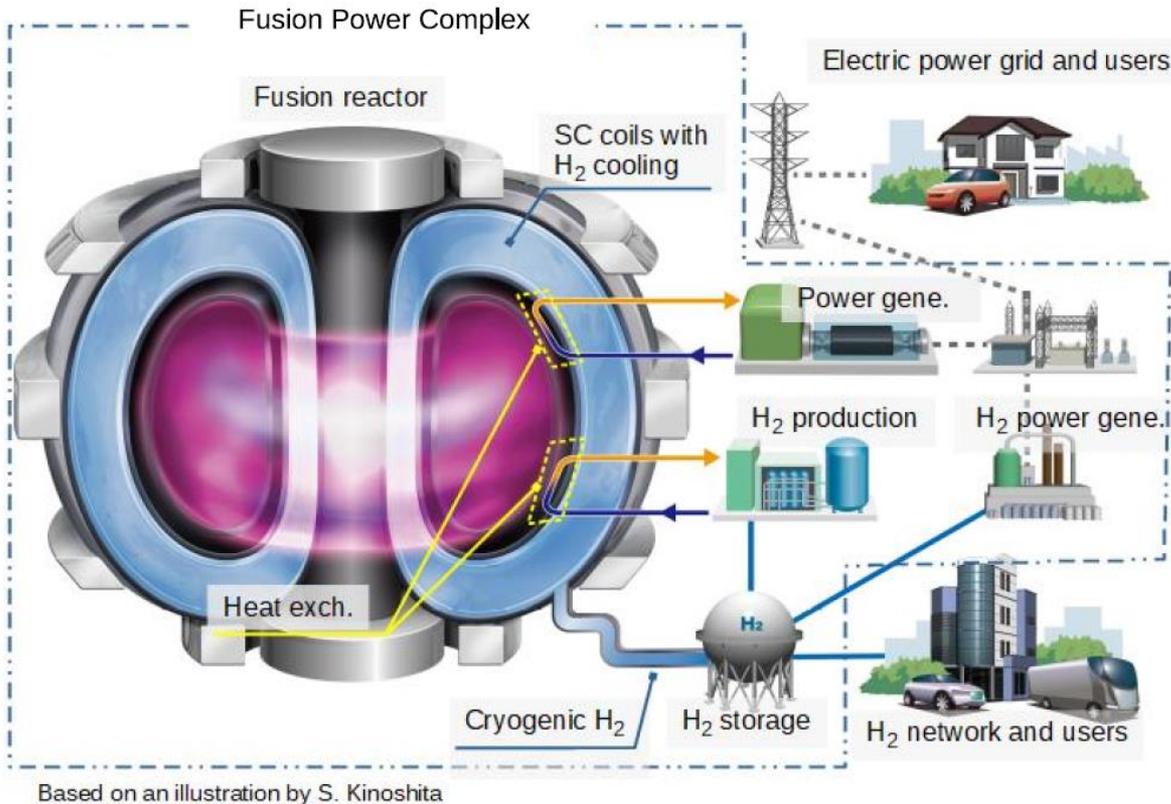
申込先 仲村直子(前川製作所) メールアドレス: naoko-nakamura@mayekawa.co.jp

* 氏名、所属、メールアドレス、現地かリモートのご希望をご連絡願います。

プログラム:

- 13:30 - 13:40 開会挨拶 (調査研究会主査)
- 13:40 - 14:05 欧州から見た日本の電力・エネルギー問題
井上 彰太氏 (アナリティカ・オルビス)
- 14:05 - 14:30 小型核融合発電炉のスタートアップの現状 柳 長門氏 (核融合研)
- 14:30 - 14:55 住友商事の水素ビジネスの取組み 近藤 真史氏 (住友商事)
- 14:55 - 15:20 電力制度改革と市場動向
小林 英和氏 (東京電力ホールディングス)
- 15:30 - 17:00 核融合研紹介および見学
- 17:00 - 17:10 閉会挨拶 (低温工学・超電導学会 秋田 調学会長)

熱源として核融合装置を利用するプラントの定義を行った



- 電力と水素製造を兼ね備える
- 近い将来の核融合装置では、液体水素による超伝導冷却
- 水素として長期備蓄が可能
- この概念は、磁場閉じ込め核融合と、慣性核融合で共通
- 水素-電力変換によって、要請に応じた出力調整が可能

Fig. 1 Diagram of the proposed fusion power complex.

- 2022年5月:電気学会 核融合電力技術調査専門委員会「核融合と電力システムとのつながり」に関するパネルディスカッション
- 2022年8月:共同研究打ち合わせ(JAEA大洗研究所, 高温ガス炉による水素製造法見学)
- 2022年12月:日本原子力学会 部会ウィークリーウェビナー「核融合原型炉に向けた研究の進展とカーボンニュートラルへの寄与」
- 2023年3月:日本原子力学会 春の年会 核融合工学部会 企画セッション「核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開」
- 2023年3月:電気学会 全国大会「核融合研究の現状と今後の展望」

その他

- 産業競争力懇談会COCN「超電導で拓くカーボンニュートラル社会」
世界的な核融合動向に関する資料提供



ASCユニットの活動イメージ

持続可能社会実現
SDGsへの貢献

核融合発電の社会実装

先端超伝導線材研究

低温工学研究

国プロ

超伝導導体・コイル研究

科研費

共同研究

学会活動

産官学連携

NIFS共同研究



ASCユニット設立報告 まとめ

- ✓ 所員13名で活動開始
- ✓ 核融合としての課題
 - 高磁場大型超伝導マグネットの高信頼要素技術確立
- ✓ ASCユニットの目指すもの
 - 研究実績に「水素」も取り込み高信頼性指向の工学研究
 - 次世代の核融合工学にフィードバック
- ✓ 研究活動方針
 - これまでの超伝導・低温工学研究を、持続可能社会変革に向けた新たな研究に再構築
 - 液体水素研究のゲートウェイ的な役割
 - 高磁界や低温利用を様々な分野に応用を目指す



ASCユニット設立報告 まとめ

✓ 3つの柱

- ・超伝導導体・コイル研究
- ・低温工学研究
- ・先進超伝導線材研究

✓ 独自性、優位性など

多彩な低温環境試験設備等を保有する強み
豊富な試験評価実績と、革新的な線材研究

✓ 外部資金獲得に向けて

- ・関係学会での関係強化
- ・産官学連携の強化
- ・NIFS共同研究の活用
- ・研究戦略会議は経験豊富な所外委員で構成

大型科研費やNEDO、JSTのプロジェクト採択を目指す

ご清聴ありがとうございました

