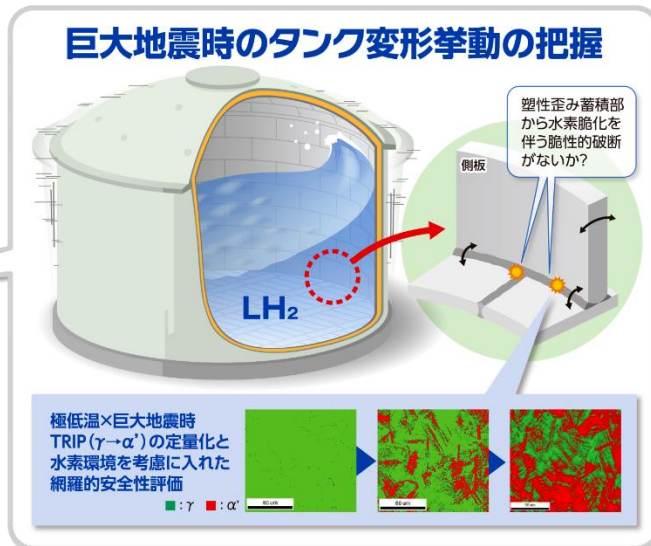
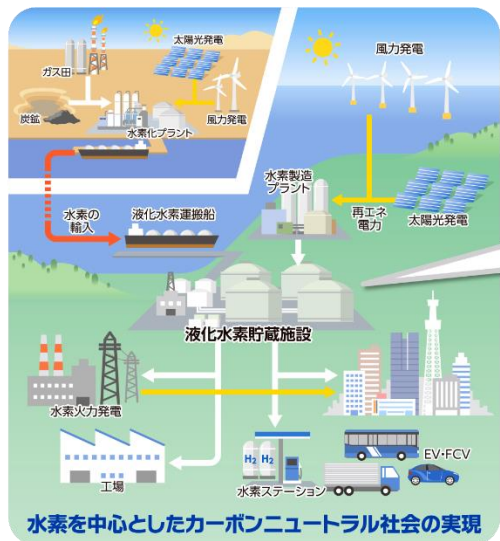


発表No.B2-16

水素社会構築技術開発事業/総合調査研究/ 大型液化水素貯槽実現に向けた極低温用材料信頼性評価法 および社会受容のための実大試験方法の開発



技術基準を作る

世界に先駆けた安全性を確保
できる材料評価基盤の確立を
目指す。



実大評価手法の検討

実物大試験材料を使用し
極低温下での実破壊試験を
実施。

極低温
-253℃
以下

LHe

世界最大クライオスタット

実物大の
溶接構造体

▲極低温(液体ヘリウム環境)実大破壊試験評価機(イメージ)

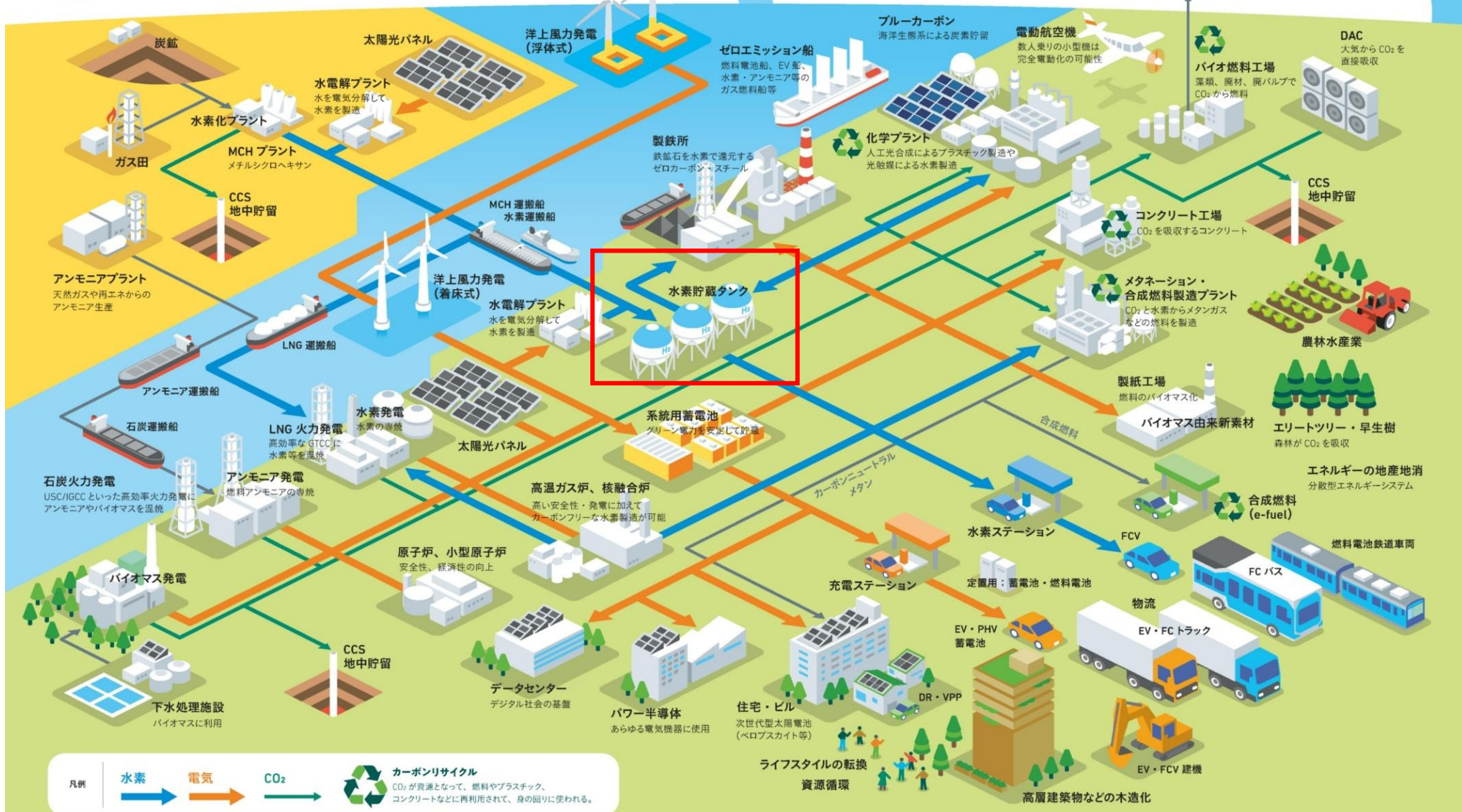
The diagram shows a large-scale testing setup. A real-world size welded structure is being tested in a cryostat (world's largest) using liquid helium (LHe) to achieve temperatures below -253°C. The image is a conceptual representation of the testing machine.

国立大学法人 東京大学
発表日 7月14日

連絡先：川畑友弥
国立大学法人 東京大学
(kawabata@fract.t.u-tokyo.ac.jp、
03-5841-6517)

カーボンニュートラルの産業イメージ

電気はすべて脱炭素化し、産業部門の電化を進める
 水素は、発電・産業・運輸など幅広く活用されるキーテクノロジー
 CO₂は回収し、カーボンリサイクルや地中貯留 (CCS) へ



水素航空機
 燃料に水素を用いる他、燃料電池を活用

ハイブリッド航空機
 推進系の一部に電動技術を用いる

ブルーカーボン
 海洋生態系による炭素貯留

電動航空機
 数人乗りの小型機は完全電動化の可能性

バイオ燃料工場
 藻類、廃材、廃バルブでCO₂から燃料

DAC
 大気からCO₂を直接吸収

炭鉱

太陽光パネル

洋上風力発電 (浮体式)

ゼロエミッション船
 燃料電池船、EV船、水素・アンモニア等のガス燃料船等

ガス田

水素化プラント
 水を電気分解して水素を製造

水電解プラント
 水を電気分解して水素を製造

MCHプラント
 メチルシクロヘキサン

CCS 地中貯留

製鉄所
 鉄鉱石を水素で還元するゼロカーボン・スチール

化学プラント
 人工光合成によるプラスチック製造や光触媒による水素製造

コンクリート工場
 CO₂を吸収するコンクリート

メタネーション・合成燃料製造プラント
 CO₂と水素からメタンガスなどの燃料を製造

CCS 地中貯留

アンモニアプラント
 天然ガスや再生エネルギーからのアンモニア生産

LNG 運搬船

アンモニア運搬船

石炭運搬船

LNG 火力発電
 高効率なGTCCに水素等を混焼

水素発電
 水素の専焼

太陽光パネル

系統用蓄電池
 グリーン電力を安定して貯蔵

合成燃料

バイオマス由来新素材

農林水産業

エリートツリー・早生樹
 森林がCO₂を吸収

エネルギーの地産地消
 分散型エネルギーシステム

アンモニア運搬船

洋上風力発電 (着床式)

水電解プラント
 水を電気分解して水素を製造

水素貯蔵タンク

システム用蓄電池
 グリーン電力を安定して貯蔵

高温ガス炉、核融合炉
 高い安全性・発電に加えてカーボンフリーな水素製造が可能

カーボンニュートラルメタン

水素ステーション

FCV

合成燃料 (e-fuel)

燃料電池鉄道車両

FCバス

EV・PHV蓄電池

石炭火力発電
 USC/IGCCといった高効率火力発電にアンモニアやバイオマスを混焼

アンモニア発電
 燃料アンモニアの専焼

原子炉、小型原子炉
 安全性、経済性の向上

データセンター
 デジタル社会の基盤

パワー半導体
 あらゆる電気機器に使用

住宅・ビル
 次世代型太陽電池 (ペロブスカイト等)

DR・VPP

充電ステーション

EV・FCトラック

物流

EV・FC建機

高層建築物などの木造化

EV・FC建機

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2022年4月
終了 : (西暦) 2023年3月

2. 最終目標

世界に先駆けて、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献すること

3. 成果・進捗概要

材料へ要求すべき評価基準を合理的に設定するために貯槽の巨大地震時解析を実施し、これまで知見していなかった液水貯槽への適合性を検討する際に必要な特性評価項目と定量的限界値（限界J値やそれを換算した要求シャルピー衝撃値など）について重要な結果を得た。また、過去のLNG貯槽の例を考慮しても、それだけでは大規模実用にはまだ材料評価として不足である。社会受容のためには小型試験結果と理論の組み合わせのみならず、貯槽構造の一部を切り取ったような実大部材試験を実施する必要がある。同事業ではこの実大評価の足掛かりとするべく、L字試験片に対する曲げ試験を実施可能な試験装置の大学への設置および国内材料メーカーが保有する大型試験機に液体ヘリウムを用いた冷却装置を設置することを完了した。液体窒素による試運転状況は良好であった。さらに、液化水素貯槽設計基準を策定するため、高圧力技術協会委員会内に組織している液水WG内に幾つかのサブWGを設置し、それぞれの専門家による分科会方式にて基準の在り方についてディスカッションをおこない、設計基準の素案を作成した。

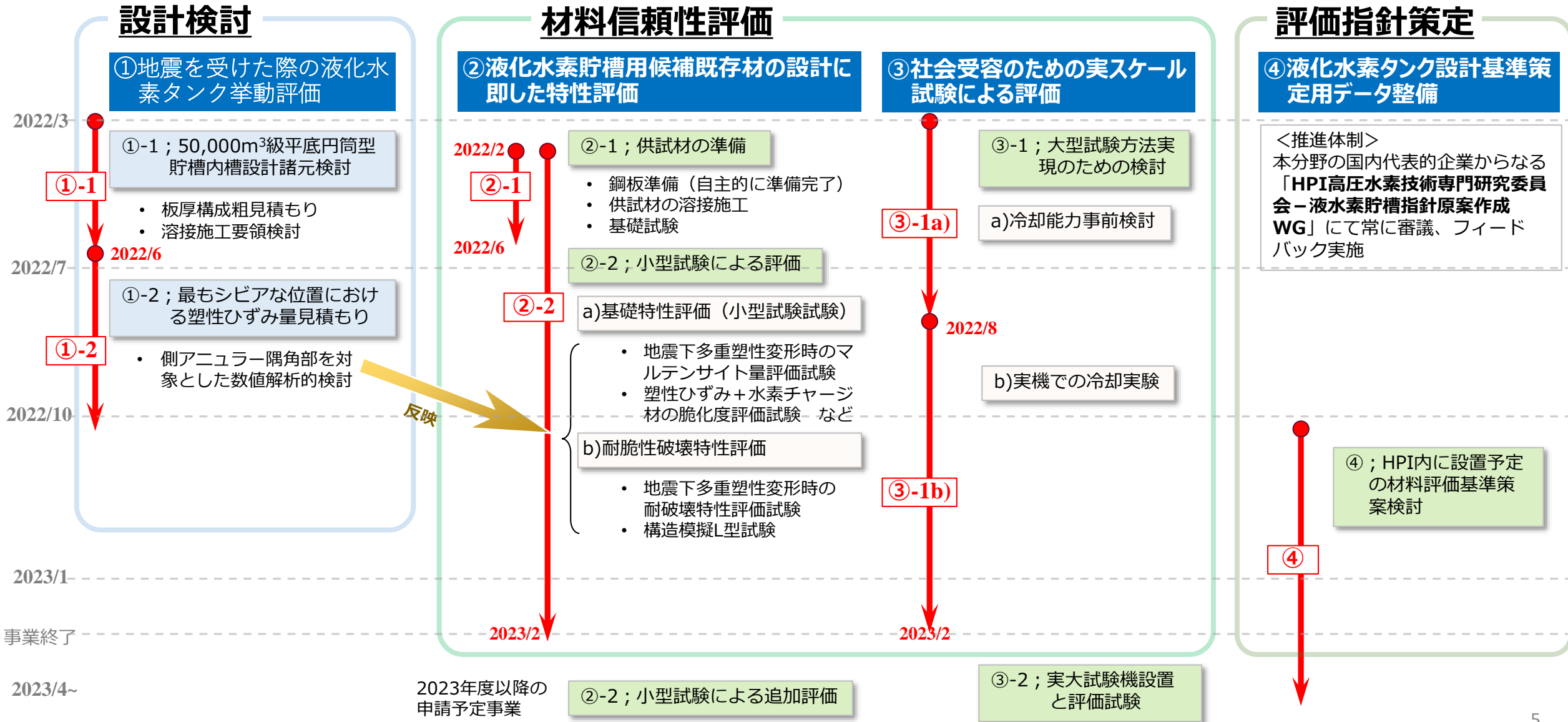
1. 事業の位置付け・必要性

「水素利用等先導研究開発事業」基本計画に記載されているように、我が国のエネルギー政策は2017年12月26日に取りまとめられた『水素基本戦略』に基づき、エネルギー安全保障と温暖化対策の切り札として水素を取り扱っている。また、本研究テーマは「再生可能エネルギーからの高効率低コスト水素製造技術、水素の長距離輸送、長時間貯蔵を容易にするためのエネルギーキャリア技術及び大規模水素利用技術の先導的な研究開発に主として取り組む」とする本事業の精神に合致したものである。本研究テーマの最終的なゴールは以下の2点である。

- ✓ これまでWE-NET事業などで提案されてきた有望な材料（母材・溶接部）を用い、平底円筒型大型貯槽が最もシビアな状態である大規模地震に見舞われた後を想定した評価試験を多面的に実施することにより、同状況でも強度および耐破壊特性の面で健全性を損なわないことを評価する手法およびクライテリオンを開発すること
- ✓ さらに社会受容の面で不可欠な貯槽構造物一部の実大模型を用いた液化水素温度での評価試験方法は世界に存在しないことから、実現可能な方策を開発し、試験機を製作するあるいは費用規模を見積もること

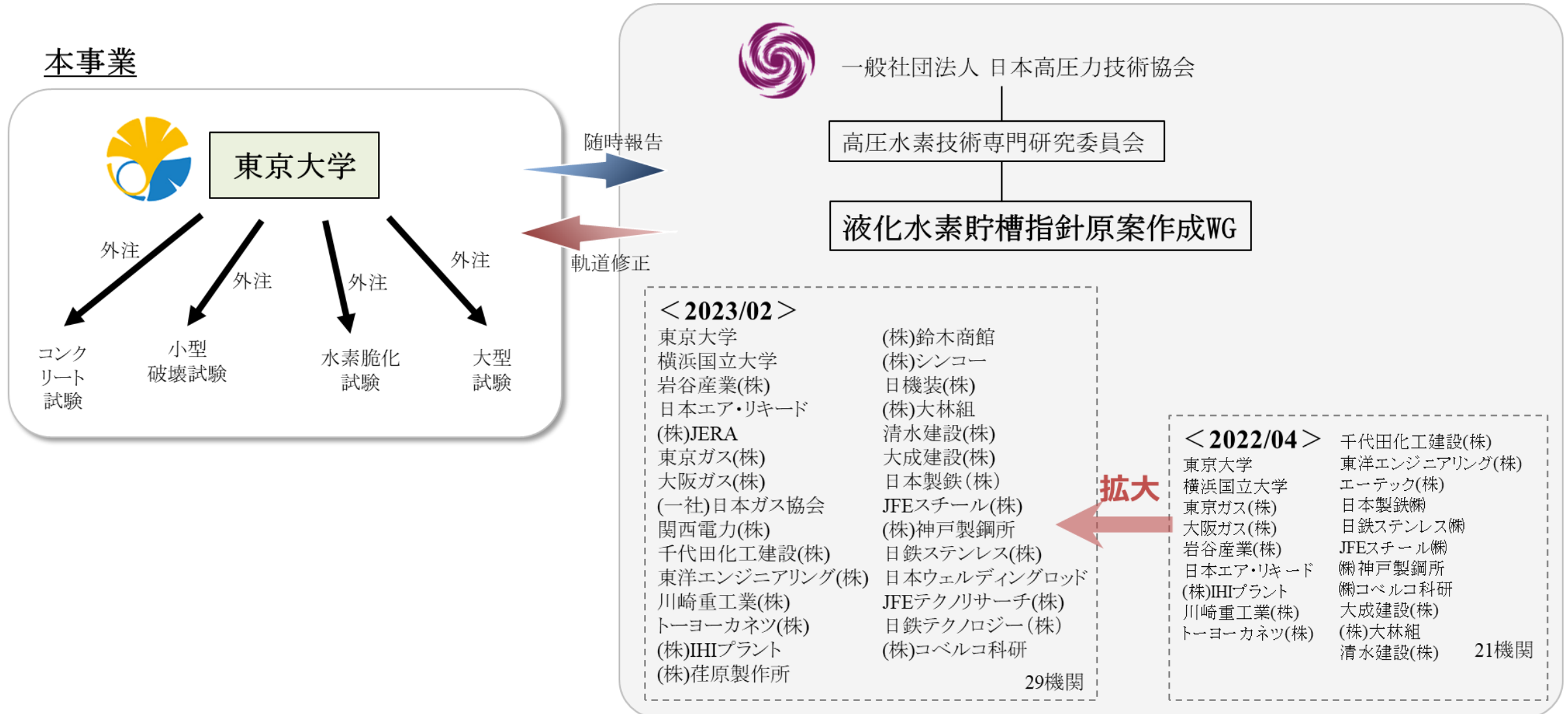
2. 研究開発マネジメントについて

研究開発のスケジュール



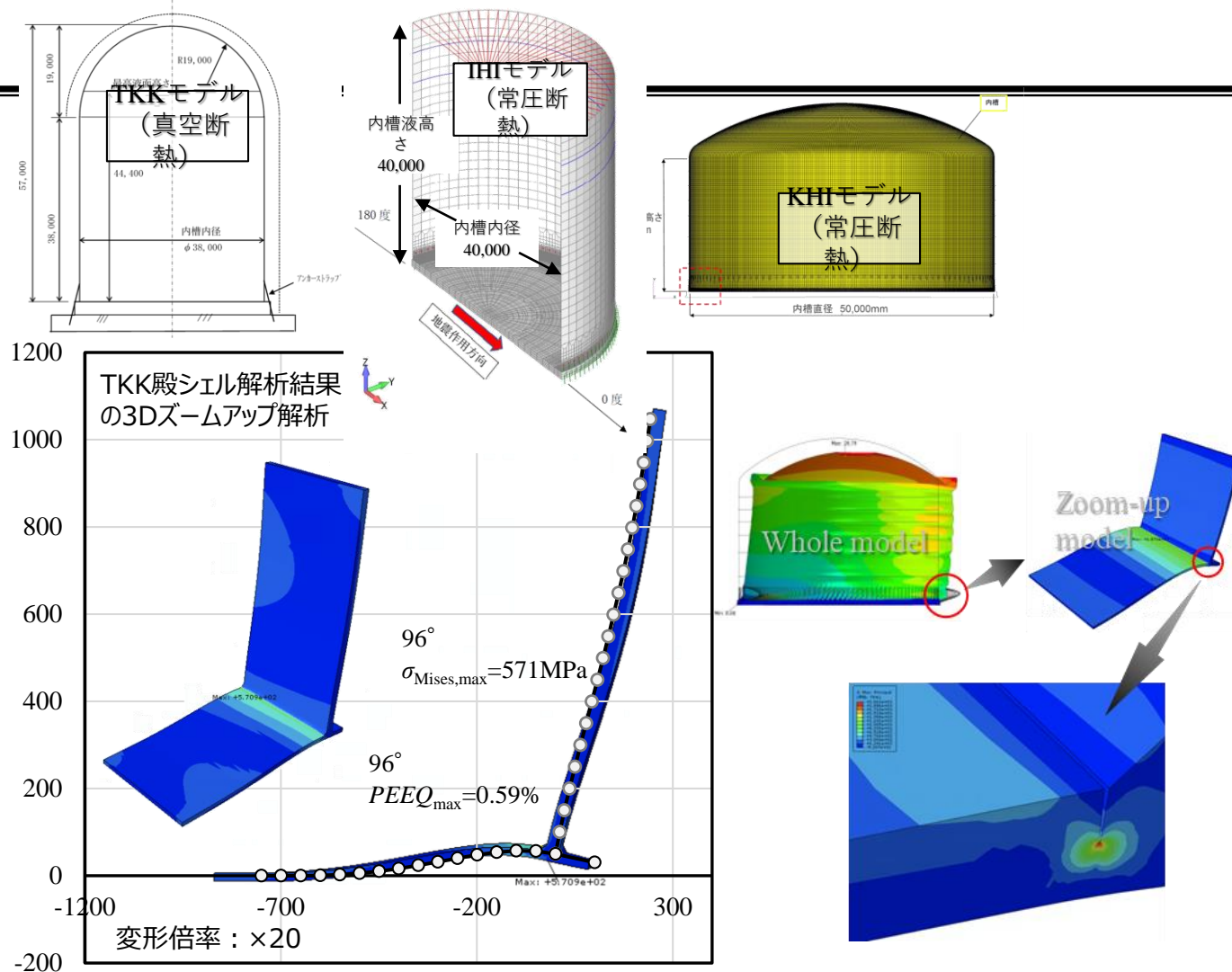
2. 研究開発マネジメントについて

研究開発の実施体制



3. 研究開発成果について

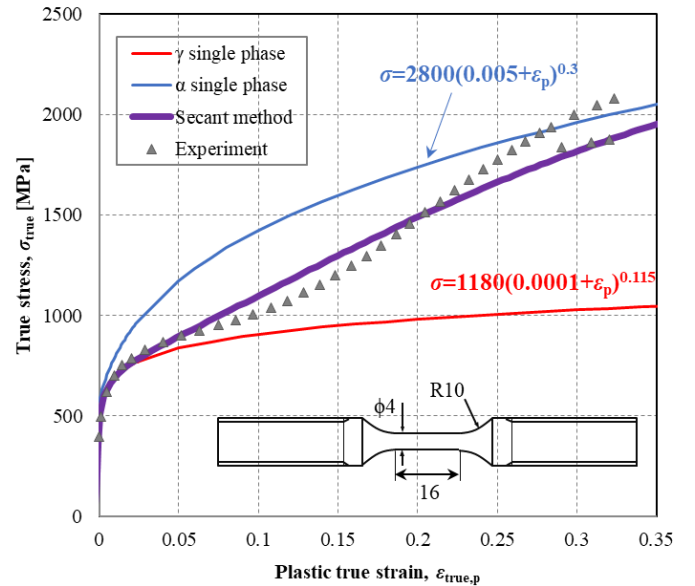
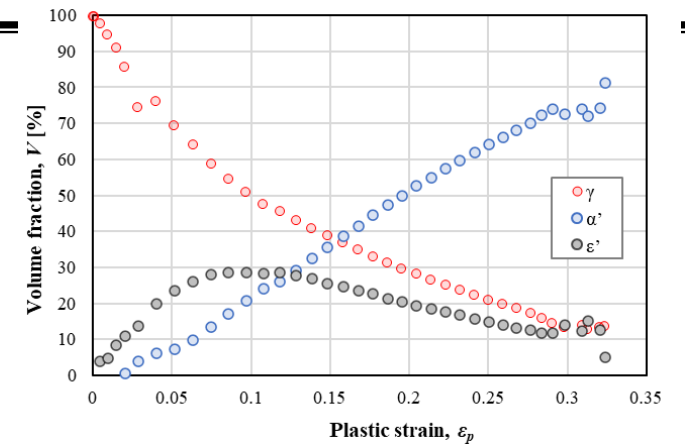
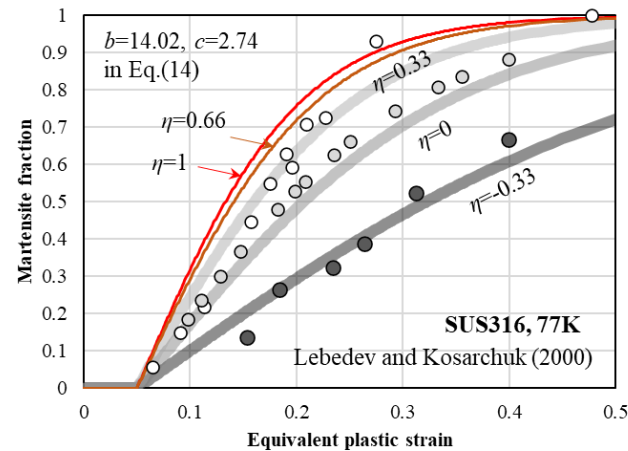
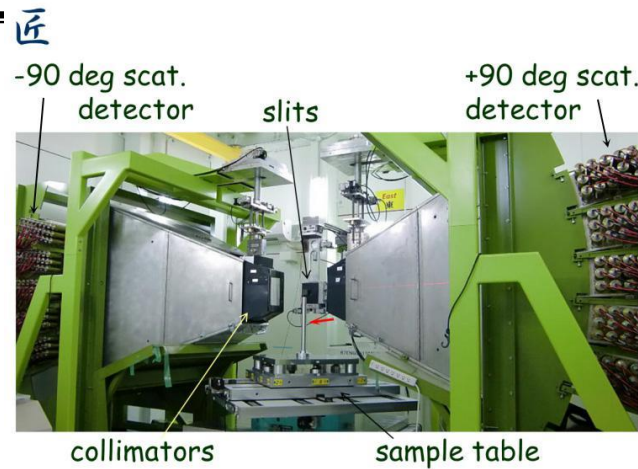
事業項目	成果概要
①-1 50,000m ³ 級 平底円筒型貯 槽内槽設計諸 元検討	国内主要3社による 50,000m³規模の液化水素貯槽の試設計を実施 した。各社の設計思想に基づいた断熱方式およびH/Dが異なる3種の貯槽の現状法規に基づく実際的な設計を得た。これにより本事業にとって重要な 貯槽全体の形状や板厚構成が決定 できた。
①-2 最もシビアな位置における塑性ひずみ量見積もり	設計諸元にもとづき レベル2地震動 に見舞われた際の貯槽の変形について、 全体3次元シェル解析にてまず明らかにした 。その結果、想定通り側最下段×アニュラー部が最も過酷な応力および歪がもたらされることが判った。しかし、全体解析結果で得た絶対値のみならず、溶接止端部形状などを忠実に模擬した3次元ソリッドモデルにおいても、 塑性ひずみレベルは1%以下と軽微にとどまる ことを初めて知見した。初期欠陥が存在する場合の破壊力学的解析を実施中である。



真空断熱形式のものを例示するが、レベル2地震時にc=0.2tの亀裂があったとしても駆動力Jはかなり小さい値であることが判った。しかし、特に常圧断熱形式では底部とのすべり拳動の定量化が難しく、駆動力を一意に決めきれない問題が残った。

3. 研究開発成果について

事業項目	成果概要
②-1 マルテンサイト変態進行時応力ひずみ関係の一般形取得	使用環境である20Kにおいて有力材料であるSUS316Lに発生する特有の問題である加工誘起マルテンサイト変態は延性破壊抵抗および水素脆化に顕著な影響を及ぼすことが想定されるが、その定量的な変態量やそれに応じた応力ひずみ関係の変化はこれまで未知であった。本事業において中性子その場計測での各相の応力歪曲線取得を通じ定量的に明らかにできた。
②-2 実継手溶接残留応力と水素割れ発生に関する力学検討	多層溶接シミュレーション実施可能なソフトウェアSYSWELDを導入することによりSUS316L溶接部の残留応力分布について定量的なデータを得ることができた。今後実継手の水素脆化挙動との関連性について考察を深める予定である。

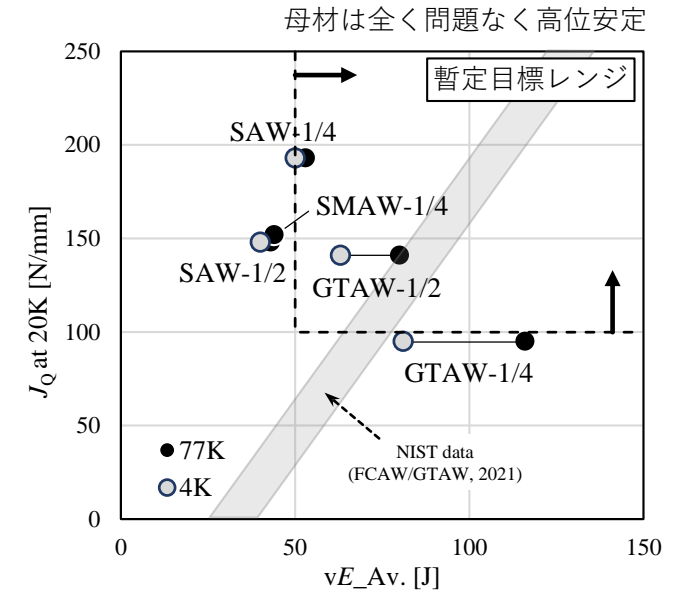
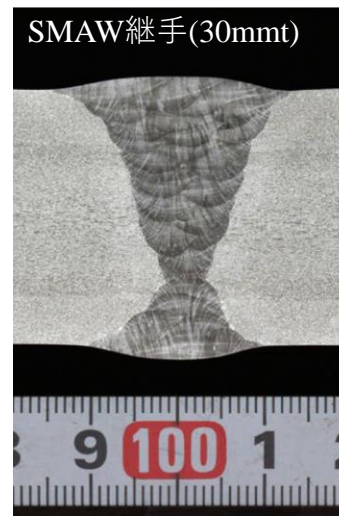


J-Parc中性子その場回折データにて変形中の各相分率や応力を同定。TRIPの応力多軸度依存性を考慮したSecant法を開発。自由形状に対しFEMで相変態を考慮した計算が可能になった。

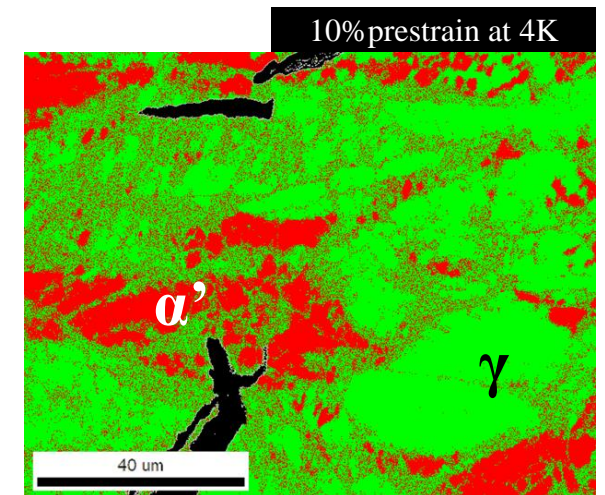
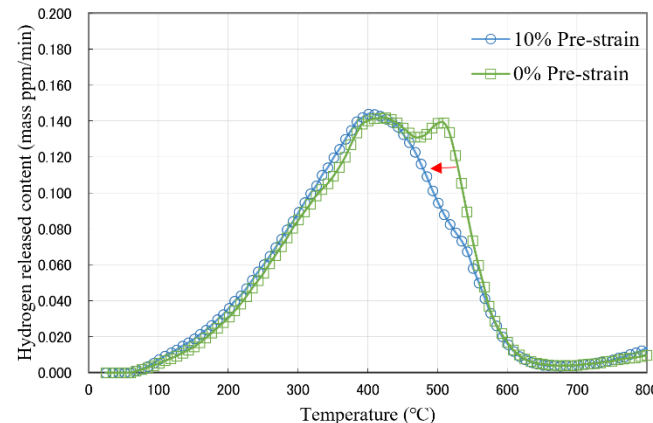
3. 研究開発成果について

事業項目	成果概要
②-3 供試材の準備	当初計画通りの供試材（母材，SAW溶接材料，TIG溶接材料）を準備したが，その後のディスカッションの中で重要と考えられた SMAW継手についても事業途中で必要と判断し，購入し評価実施している。
②-4 激震時の平底円筒貯槽の挙動を考慮した評価試験による鋼材の信頼性評価	同事業では1年間に実施可能な試験のみ計画し，現在実験が9割がた完了しているところである。今後総合的な議論を実施する。HPIに組織されている液水WGではデータが完全でない途中段階から継続的に議論を行っている。同評価試験はそもそも計画全体が完了しないため今後も継続遂行する必要がある。

▶ 液化水素温度域における耐延性破壊特性



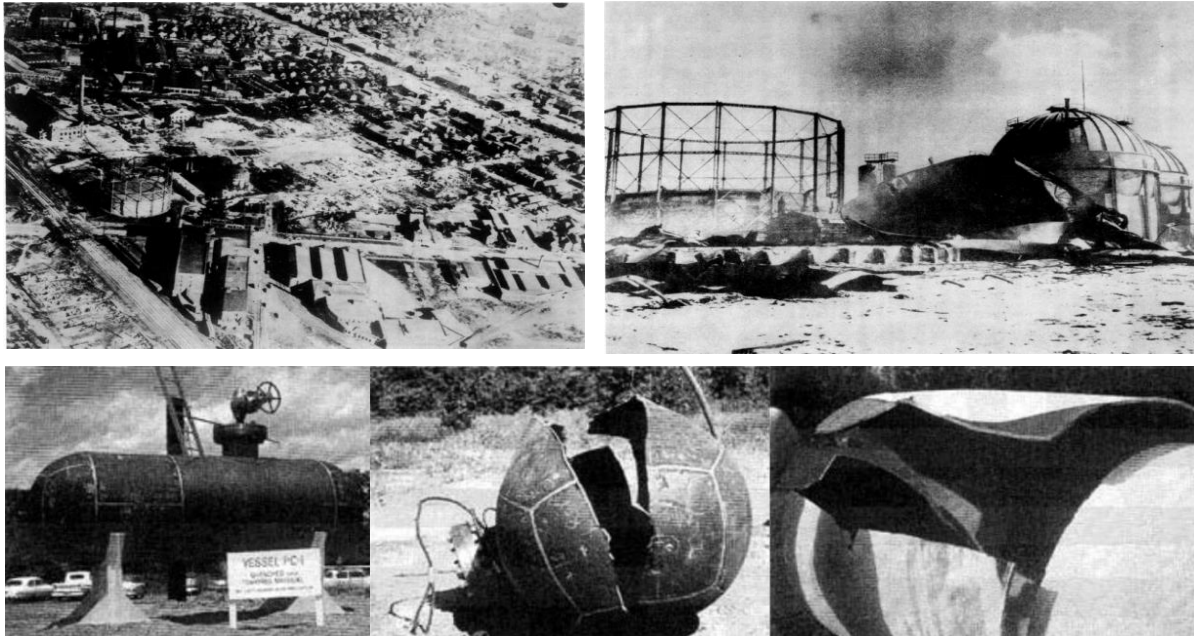
▶ タンクが経験する最過酷履歴を考慮した耐水素脆化特性評価



3. 研究開発成果について

③社会受容のための実スケール試験による評価の意義

- ・ ②の事業終了後には材料指針策定本格着手可能となる。
- ・ ただし、**社会受容のために**、実大大型試験の手法を確立し、日本に一つで良いので、液化水素温度以下で評価可能な**大型試験を設置しておく必要がある**
- ・ LNGタンクの高い技術レベルは悲惨な事故の歴史により作られた。現在でも国内PJでは仕様が変わるたびにほとんどの場合実大材料性能確認試験を実施している。



LNGタンク一号機の爆発事故からその後の設置と安全性指標確立に至る道のり

LNGタンクの一号機（米国）は1944年に使用開始から半月ほどで死者120名を超す大爆発事故を起こした。（原因は材料の破壊靱性不足、選定ミス）

9%Ni鋼開発（1949年）

9%Ni鋼ASTM・ASME規格化 [要求値決定]（1952年）

“Operation cryogenics” 研究実施（1960）

米国にて 9%Ni鋼製LNGタンク初操業（1963）

LPGタンク（カタール）で爆発事故（1977）原因は溶接不良と材料靱性不足

LNGタンクも設計見直し・ダブルインテグリティ要求へ（1979年～）

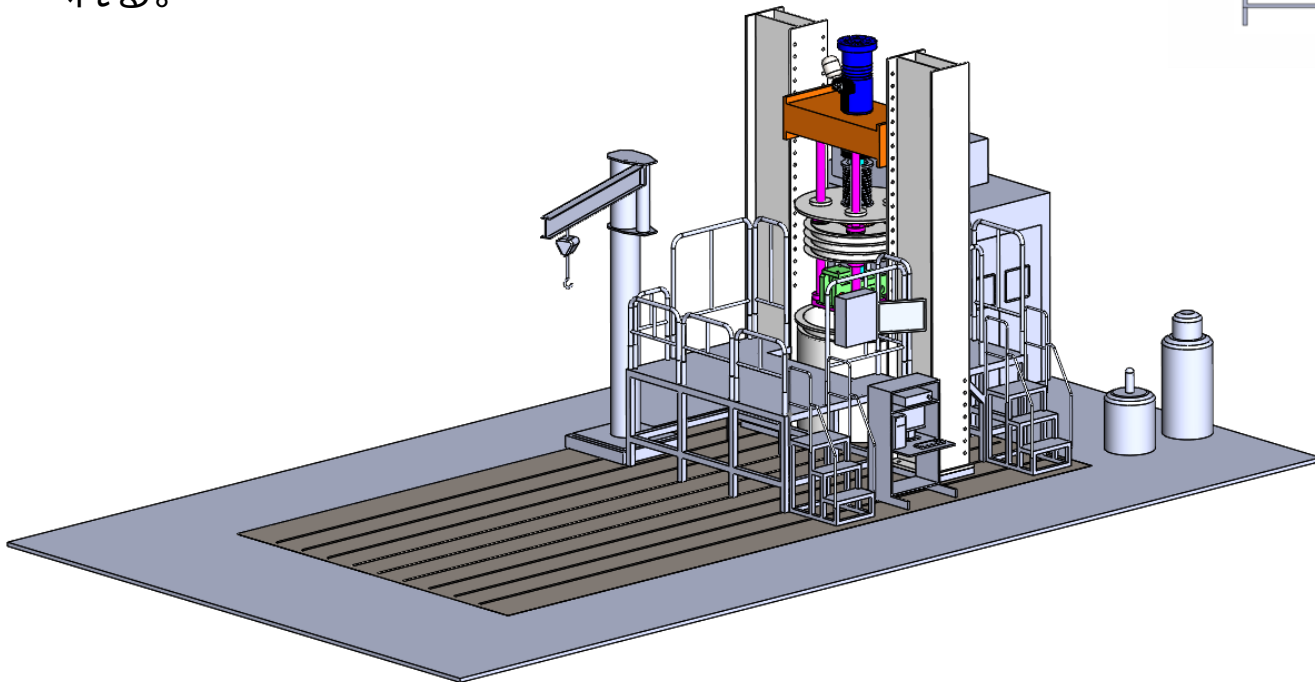
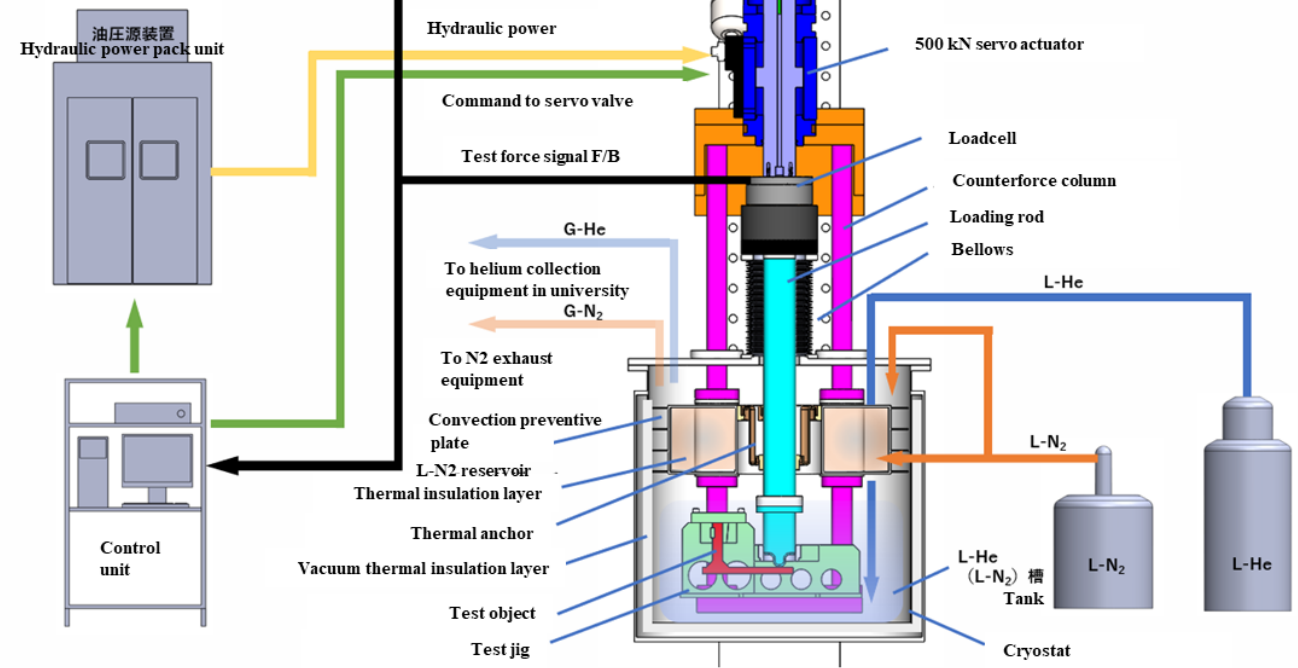
写真上：クリーブランド事故、下：Operation Cryogenicsによる大規模実大バースト試験，
Kawabata and Hirose：A Transition of Philosophies of Fracture Safety and Materials in Liquefied Natural Gas Storage Tanks, ISOPE2017.

3. 研究開発成果について

➤ LH2温度域で試験可能な構造試験機の設置

決定的な材料信頼性評価のため、**実際に最も過酷な場所をその形態で評価するための試験機を製作**（既存アクチュエータに大型クライオスタットを増設）。2022FyはLHe入荷できず評価には至らなかったが77Kで実施した事前評価試験では問題なく試験実施できた。当該部位継手に初期き裂導入しかつ予備水素チャージした試験片を用いてLHe下での実評価が待たれる。

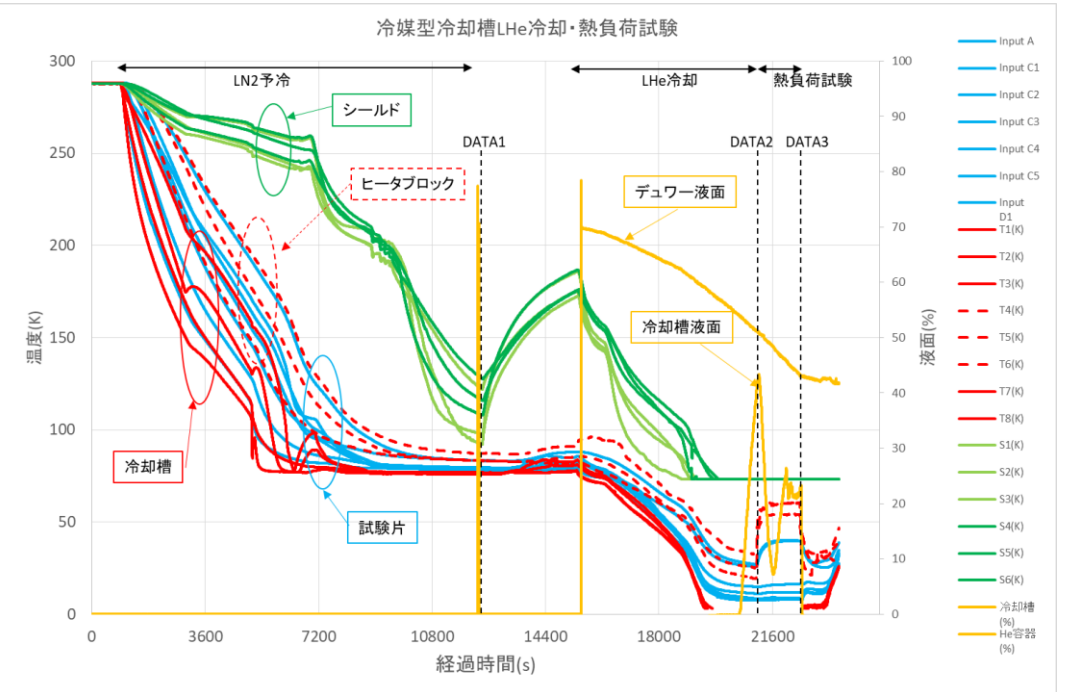
System diagram



3. 研究開発成果について

事業項目	成果概要
<p>③-1 大型試験方法実現のための検討</p>	<p>大型試験機内で直接液体水素を用いた評価が困難であるため、液体ヘリウムの評価を行うべく準備を行っている。液体窒素と異なり液体ヘリウムは高価であるため、冷却可否を検討するだけでなく、なるべく使用量を抑えた高効率冷却法を開発する必要がある。本事業ではこれらの要望を満足できる冷却装置を2種類（広幅引張用、ESSO用）準備できる見通しである。次年度以降に実際の評価を実施する準備は整った</p>
<p>③-2 液化水素による大型試験実現のためのFS</p>	<p>材料適用可否を検討するための最も直接的な評価は液体水素を直接用いた貯槽の破壊試験であろう。審査会では事業内でこの方法を検討するように指示があった。情報収集や各方面とのディスカッションにより、結論としてJAXA能代試験場において、設備拡充することにより、所望の評価試験が実施可能であることが判った。次年度以降の事業にて遂行することが可能である。</p>

➤ LHeを用いた予備冷却試験（結果良好）



➤ 8000ton試験機での冷却試験（77K）：結果良好



➤ 2000ton試験機での冷却試験（77K）：まずまず。改善点明確化

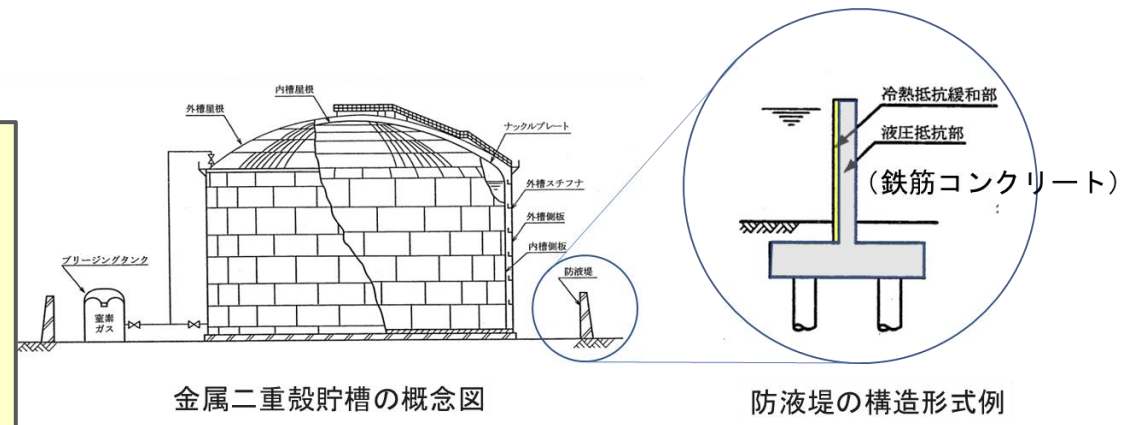
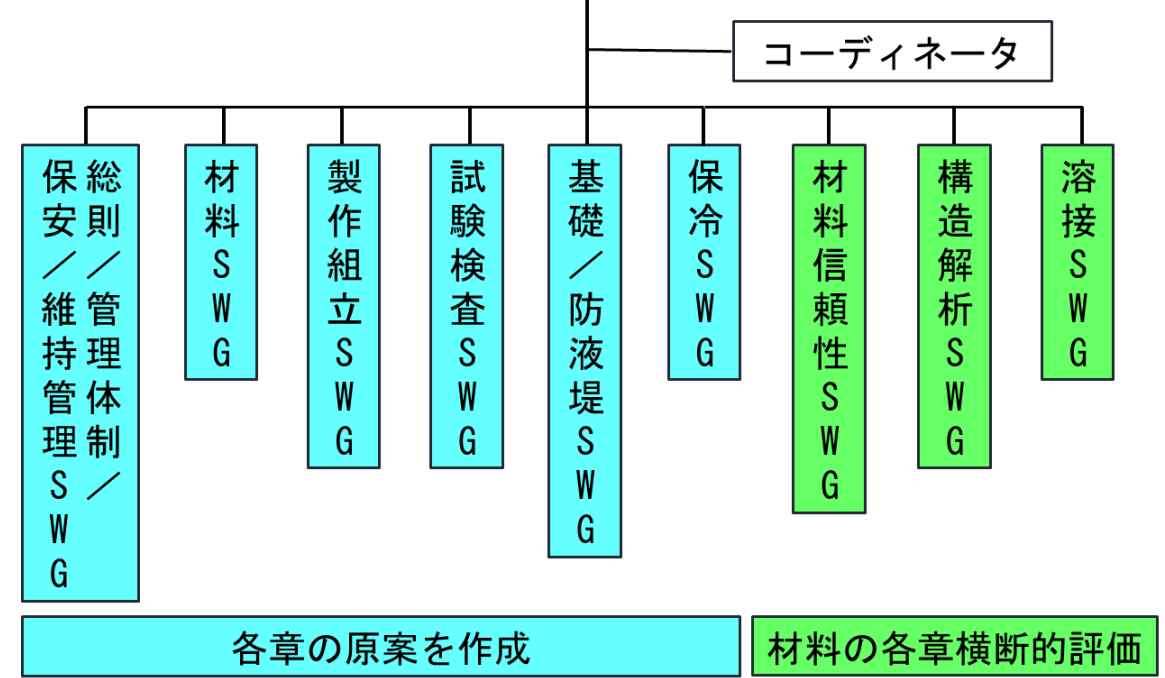


3. 研究開発成果について

事業項目	成果概要
④ 液化水素貯槽設計基準策定用データ整備	<p>作成すべき指針の原案を策定すべく、液水WG内に幾つかのサブWGを設置し、それぞれの専門家による分科会方式にて基準の在り方についてディスカッションをおこなっている。実施実績は以下の通りである。2022事業の構造および材料データを常に評価しながら進めた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造解析・材料信頼性SWG5回, ・ 構造設計SWG3回, ・ 製作組み立てSWG1回, ・ 試験検査SWG2回, ・ 基礎防液堤SWG6回, ・ 保安SWG4回

NEDOプロジェクトにおける評価を下敷きに各SWGで指針の方向性について議論を重ねた。その中で、**防液堤に使用される①土木材料（PC鋼線含む）の健全性、②冷熱抵抗緩和材の耐熱衝撃特性、③PC構造体の液密性** が未解明であり金属材料同様実際の使用状況を考慮した液化水素条件での信頼性評価が必要であり、課題として取り残されている状態であることを見出した。

大型液化水素貯槽指針原案作成WG



事業成果の一部は国際会議にてPRする。

Material Reliable Evaluation Program for a Large Capacity Liquefied Sto

Tomoya Kawabata
The University of Tokyo, Department of Systems Innovation
Bunkyo, Tokyo, Japan

ABSTRACT

Various energy carrier systems have been proposed to achieve a hydrogen supply chain of 300,000 tons per year by 2030. This plan is a precursor to virtually zero CO₂ emissions in the future. Liquefied hydrogen storage tanks are considered a non-toxic and reliable way to achieve this goal. However, many aspects still need to be clarified for the fracture resistance of the inner tank, which is the key to the safe storage of liquefied hydrogen. In this article, the author briefly introduces a Japanese governmental research project.

KEY WORDS: liquefied hydrogen storage, Stainless steel, Ni steel, fracture toughness, hydrogen embrittlement, TRIP.

INTRODUCTION

Various energy carrier systems have been proposed to achieve a hydrogen supply chain of 300,000 tons per year by 2030 (Japanese government cabinet secretariat, 2017), which is a precursor to virtually zero CO₂ emissions in the future. A simple storage and transportation system using a liquefied hydrogen carrier and a liquefied hydrogen storage tank is considered a non-toxic and reliable way to achieve this goal since it simply uses hydrogen alone. However, using only developed processes, the target price (station price of 30 yen/Nm³) is far from being achieved, and cost reductions in all processes must be pursued rapidly. In particular, storage and transportation, which accounts for a large portion of the price, can be most efficiently reduced by scaling up the size of the tanks. Furthermore, to realize these storage tank structures, it has been found that many issues need to be clarified regarding the fracture resistance of the inner tank, which is the key to safely storing liquefied hydrogen. Therefore, a research program is currently underway to establish the existence of problems, material evaluation methods, and reference values when SUS316L, the most promising candidate material, is used. These research programs are commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). However, the drafting of guidelines for liquid hydrogen storage tanks, including feedback at the planning and intermediate stages, is always discussed by the WG for drafting guidelines for liquid hydrogen storage tanks, which is

established within the Technical Co Technology (PHT) of the High-Pre (Fig. 1 shows a schematic diagram of storage tank.) This paper mainly de loading arms and inner tanks, w establishing a hydrogen society, w to space limitations.



Fig. 1 Demand for larger-scale liquid hydrogen storage tanks

HISTORY OF LIQUEFIED AND ITS STORAGE

Devar developed a technique for CO effect. Using this technique, he lay in 1893 (Kapetz, 1934). He built a liquid hydrogen in large quantities and primarily for the following applica

Hydrogen bubble box for part When a charged particle is can be detected by the gener

FEM Module Development Considering TRIP for Evaluating Liquefied Hydrogen Sto Deformation under Huge Earthquake

Rintaro Tsuda¹, Ritsuki Morohashi², Noriyuki Tsuchida³ and Tomoya Kawabata⁴
¹The University of Tokyo, Department of Systems Innovation
Bunkyo, Tokyo, Japan
²University of Hyogo, 2167, Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan

ABSTRACT

This study evaluates the safety of liquefied hydrogen as an energy carrier by calculating the load and deformation of tanks during the largest possible earthquake. The stress-strain relationship of the mixed phase typically contained in the candidate material is given by the secant method, which is one of the homogenization methods and is formulated in a form that can be implemented in the finite element method. The authors obtained the deformation state of each phase using neutron diffraction while conducting tensile tests at 20 K. The results are more accurate than previous analyses and will not only aid in understanding earthquake-induced deformation behavior but also in predicting crack tip transformation rates.

KEY WORDS

Hydrogen; Stainless steel; TRIP; FEM; stress triaxiality; earthquake.

INTRODUCTION

Background

Climate change associated with global warming is currently being observed worldwide. One of the causes is the increase in greenhouse gas emissions: the 2015 Paris Agreement (United Nations, 2015) set a target to keep the global average temperature rise well below 2°C above pre-industrial levels, and to strive to limit it to 1.5°C. The world is increasingly moving towards achieving carbon neutrality. As part of this, there are plans to use liquefied hydrogen as an energy carrier and to develop hydrogen infrastructure for this purpose. In order to use liquefied hydrogen in a stable manner, it is essential to construct unprecedentedly large storage tanks. However, the temperature of liquefied hydrogen is 20 K, an extremely low temperature to which no structure has ever been exposed. The aim of this study is to evaluate the safety of liquefied hydrogen storage tanks under the harsh environment of 20 K and the maximum possible earthquake by calculating the load on the tanks and the amount of deformation they would experience. Currently, austenitic stainless steel is considered the material of choice for liquefied hydrogen storage tanks. The reason is that austenite, which has a face-centered cubic structure, does not suffer from brittle fracture, which is considered a significant risk in structural applications. The mechanical properties of metastable materials, in particular Fe-Cr-Ni steels, have long been the subject of experimental and theoretical research. The reason for this is that these materials

overcome the weaknesses of carbon steels, part high corrosion resistance and brittle fracture ree very frequently in modern engineering. It is k microstructure of this type of material can b transformation depending on the service en temperature and applied strain, which is proble This paper focuses on the work-induced transfor candidate material SUS316L, and aims to clarif changes and mechanical conditions in the most occur in the tank during a severe earthquake. A method is exclusively used for seismic analysis of to create a module that can calculate the transformation within the finite element method.

History of martensite transformation austenitic stainless steel and the aim of th

In metastable austenitic stainless steels, plastic de Md temperature (Md) is the maximum tem martensite transformation can occur by plast produce body-centered cubic α' and hexage martensite, resulting in significant strength. The face-centered cubic austenite (γ or α' and α -ma) depend on alloy composition, stacking defect degree, and temperature. Early studies (Eichelstein and Hill, 1953; Banerji, Hirayama and Ogata, 1970) investigated the p of several pure and commercial Fe-Cr-Ni alloys by at room temperature and below freezing. One of these studies was that the rate of martensit highly dependent on the chemical composition of Cr and C, having a particularly strong infl transformation process. The total effect of the on martensite transformation is assessed from t (Hirayama and Ogata, 1970) and MMSO (Aa, 1977).

Martensitic transformation of metastable stainless steels focus of research in internal tensile at low strain (Angel, 1954; Lindeberg, 1964; Wigley, 1971; O Tamura, 1982). Tsuchida et al. also developed a obtain stress-strain relationships in the phase transformation using a homogenization metho method proposed by Weng (Tsuchida et al., 2000, Tsuchida et al., 2021a, Tsuchida et al., 2021b). I attention was paid to the influence of str transformation, but (Lebedev, 2000, Bessie,20

Risk of Hydrogen Embrittlement of SUS316L Welds for Large Capacity Liquefied Hydrogen Storage Tank

Rafael Magalhães de Melo Freire¹
Mitsuo Kimura²
Tomoya Kawabata³

¹The University of Tokyo, Department of Systems Innovation
²The University of Tokyo, Institute of Industrial Science
Tokyo, Bunkyo-ku, Japan

ABSTRACT

Hydrogen embrittlement in the TiG weld metal is investigated in this work by employing slow strain rate tensile (SSRT) tests and using a scanning electron microscope (SEM) to observe the fracture surface and classify it. Also, the mutual effect of external and internal hydrogen in the weld metal of the SUS316L was studied to qualify the changes in the brittle areas according to the hydrogen content and the addition of pre-strain. The loss of ductility and reduction of strengths were observed as the brittle area decreased due to the combination of a higher concentration of hydrogen and pre-strain.

KEY WORDS: Hydrogen embrittlement, SSRT, weld metal, pre-strain, internal hydrogen, and external hydrogen

INTRODUCTION

Hydrogen is a promising renewable fuel that can potentially decrease the dependence on fossil fuels. To let hydrogen in the energy matrix, capable systems and materials to safely store, transport, and use it are demanded. There are big challenges to incorporating this renewable fuel into the energy matrix, and one of them is in the storage process due to hydrogen embrittlement and low temperatures to obtain a higher storage efficiency. Thus, materials with good hydrogen embrittlement resistance and excellent performance at cryogenic temperatures are often required in hydrogen storage systems. As shown in Crivori et al (2020), SUS316L is a good material candidate to be used in cryogenic applications, despite the loss of mechanical performance for its weldments, as presented in Horiya et al (1996). Also, many studies have been conducted to clearly understand the hydrogen embrittlement phenomena in this material in order to assure its safe usage in hydrogen transportation and storage systems at cryogenic temperatures. The methodology to strain a specimen at very low strain rates in a hydrogen environment or with internal hydrogen has been fully applied

in the process to understand the interaction of hydrogen with the material and qualify the material's resistance to hydrogen embrittlement (HE), as explained in ASTM G129 (2013), and applied in diverse researches, for example, Michler and Naumann (2008), Ji et al (2014), San Marchi et al (2010). Slow strain rate tensile tests in the hydrogen environment can be conducted at different temperatures and pressures, as shown in by Michler et al (2008) and Michler and Naumann (2008), and it allows researchers to assess the material properly in different conditions considering the effect of external hydrogen. On the other hand, pre-charging processes can be adopted to enrich specimens with hydrogen, and from SSRT tests are conducted to assess the material performance in the presence of internal hydrogen, as done by Ji et al (2014), Yamabe et al (2017), and Park et al (2023). The aspects of internal and external hydrogen are briefly explained in Synetos (2001), and they are very similar, despite a difference in a characteristic fracture distance. Conducting tests and investigating the material behavior with internal and external hydrogen, Yamabe et al (2017) detailed the fracture process, according to hydrogen concentration and nickel content of stainless steel at room temperature.

As indicated by Fukuyama et al (2003), the range of temperature in the hydrogen environment can affect the material behavior unexpectedly. Also, Fukuyama et al (2003) presented the temperature of maximum hydrogen embrittlement (TMHE) for many grades, and the SUS316L showed a decrease in performance at around -75 °C, and similar behavior can be seen in Park et al (2023) despite of the lack of data at -70 °C. A combination of internal and external hydrogen with SSRT tests at this temperature can provide a severe condition to highlight the SUS316L fracture process under hydrogen embrittlement. This information would be important to designers and operators of liquefied hydrogen storage tanks, considering a possible problem with the cooling system. Furthermore, the understanding of the relationship between the pre-strain level in the SUS316L weld metal and its resistance to hydrogen embrittlement has fundamental importance to the projects of a huge hydrogen storage tank that will be installed on land in regions susceptible to earthquakes. Tao et al (2020) investigated the changes in the fracture mechanism as the pre-strain level was increased in duplex stainless steel,

4. 今後の見通しについて

今次事業

年度	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
実証プラント 設計/申請/ 建設/運用 (参考)				設計	建設		実証運転			
商用プラント 設計/申請/ 建設/運用				申請	設計 立地交渉	建設		運用開始		
材料・溶接 土木評価研究	[Red Box]									
能代試験場 設置										
指針原案作成 (HPIS)	ドラフト完成			完成						
指針審議 委員会										

本事業において大型液化水素貯槽候補材の詳細特性評価および実大試験の準備を実施できた。さらに**必要特性の見極めてを経て技術指針策定を目指す**。策定する指針は2030年に政府ロードマップに従って実現すべき貯槽製作の技術的基礎となるだろう。

今後も液化水素貯槽の技術基盤確立のために尽力し、地球環境問題に貢献するとともに、我が国の今後の技術資産形成の一翼を担いたい。