PROGRESS REPORT 2018

IRID

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

International Research Institute for Nuclear Decommissioning

国内外の叡智を結集し、廃炉のための研究開発に、一元的なマネジメントで取り組んでいます。

世界的にも前例のない極めて困難な廃炉作業。私たちIRIDは、乗り越えるべき技術的課題を見据えながら、世界の叡智を結集して技術開発を行っています。

Greeting ご挨拶

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）は、2013年8月の設立以来、廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉作業に必要な技術の研究開発に取り組んでまいりました。2014年8月に原子力損害賠償支援機構が原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）に改組されてからは、廃炉戦略の立案・研究開発プランを策定するNDF、現場作業を担う東京電力、廃炉に必要な技術の研究開発を実施するIRID、という役割分担が明確化され、国を含む4者が密接に連携しながら福島第一原子力発電所の廃炉に取り組んでいるところです。

その結果、原子炉格納容器の内部調査技術の開発や、燃料デブリの位置を宇宙線で検知する技術の開発等により原子炉および原子炉格納容器内の状況が明らかになってくるとともに、克服すべき技術的な課題も明らかになってきています。

2017年9月、「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」（以下、中長期ロードマップ）に技術的根拠を与えるNDFの「東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017」（「戦略プラン2017」）の更新を受け、政府により中長期ロードマップが改訂されました。

そこでは、燃料デブリ取り出し方針として、「気中・横」工法に軸足を置き、格納容器底部のデブリ取り出しを先行的に行うことが表明され、燃料デブリ取り出しに向けた研究開発は、まさにこれから正念場を迎えようとしています。

福島第一の安全・確実な廃炉作業を進める上で、IRIDは研究開発の分野において国内外の叡智を結集し、着実な成果を上げる責任を果たすことで、福島復興に微力ながらも力を尽くしてまいる所存です。

これからも皆様方のご支援並びにご指導、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

2018年1月

技術研究組合
国際廃炉研究開発機構

理事長 石橋（いしばし） 英雄（ひでお）

CONTENTS

◆IRID組織情報 ……… 02
•組織概要
•組織体制
◆IRIDの役割 ……… 04
•IRIDの活動
•福島第一原子力発電所の廃炉に関する役割分担
•IRIDの取り組み年表
•中長期ロードマップの概要
•IRIDの研究開発スコープ
•国の補助金を活用したIRIDの研究開発一覧
◆事業内容1 – 廃炉に関する研究開発 ……… 08
IRIDの研究開発
•CLOSE UP 燃料デブリ取り出し方針と当面の取り組み
IRID研究開発プロジェクト概要図
主な研究開発トピック
◆事業内容2 – 海外機関との研究開発の取り組み ……… 14
•CLOSE UP 国際機関との協力・関係強化
◆事業内容3 – 研究開発を通じた人材育成 ……… 16
•CLOSE UP 大学と連携した研究開発（実積）
•大学とのワークショップなどを通じての人材育成

私たちIRIDが目指すこと

目的

原子力発電所の廃炉に関する試験研究、
その他組合員の技術水準の向上および実用化を図るための事業を行うこと。

基本理念

廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術の研究開発に全力を尽くします。

行動理念

1. 極めて難しい多くの技術課題に直面している中、早期に現場に適用できる最良の技術・システムを開発・提案するための統合的なマネジメントを進めながら、効果的・効率的に研究開発に取り組みます。
2. 組合員はもとより関係機関との協働を進め、国内外の叡智を結集することにより、最善の研究開発体制を構築します。
3. 大学・研究機関との連携等を含め、廃炉や関連技術の分野で次世代を担う人材の育成・確保を図るための取り組みを積極的に推進します。
4. 福島をはじめとする国民の皆さまや国際社会からの理解・安心を得るために、研究開発活動・成果に関する情報の発信・公開に努めます。
5. これらの研究開発活動を通して、国際的な研究拠点（センター・オブ・エクセレンス）を形成し、廃炉、福島復興の加速化、国際社会における技術力の向上に貢献していきます。

IRID組織情報

組織概要

1. 名称

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
略称：IRID「アイリッド」(International Research Institute for Nuclear Decommissioning)

2. 組合本部所在地

〒105-0003
東京都港区西新橋2-23-1　3東洋海事ビル5階
電話番号：03-6435-8601 (代表)

3. 設立年月日

2013年8月1日　技術研究組合法に基づき、経済産業大臣により設立認可。

4. 事業内容

- 廃止措置に関する研究開発
- 廃止措置に関する国際、国内関係機関との協力の推進
- 研究開発に関する人材育成

5. 組合員（18法人）

国立研究開発法人：
日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所

プラント・メーカー等：
東芝エネルギーシステムズ(株)、
日立GEニュークリア・エナジー(株)、
三菱重工業(株)、(株)アトックス

電力会社等：
北海道電力(株)、東北電力(株)、
東京電力ホールディングス(株)、中部電力(株)、
北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、
四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、
電源開発(株)、日本原燃(株)

6. 役員

理事長：石橋 英雄
副理事長：新井 民夫
専務理事：川村 忠
理事：藤原 博次、上田 諭、魚住 弘人、門上 英、瀬戸 政宏、野田 耕一、松本 純、柳瀬 悟郎
監事：磯部 篤

7. 職員数

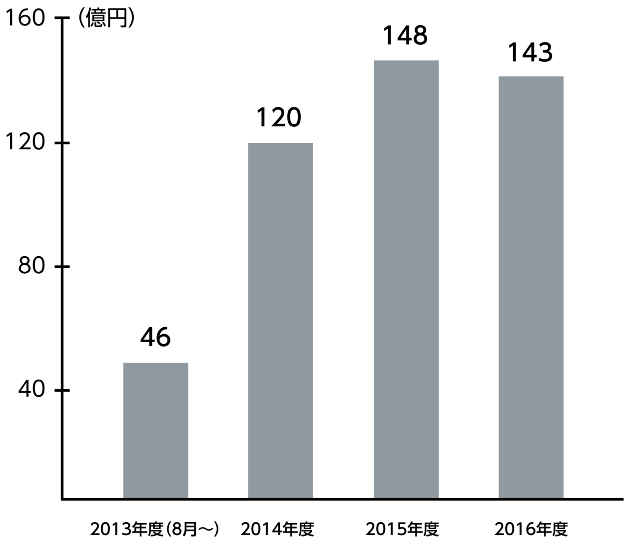
943名※（役員を除く）　※組合員法人において当組合の研究に従事する者を含む
（2017年10月1日現在）

＜ 設立までの経緯 ＞

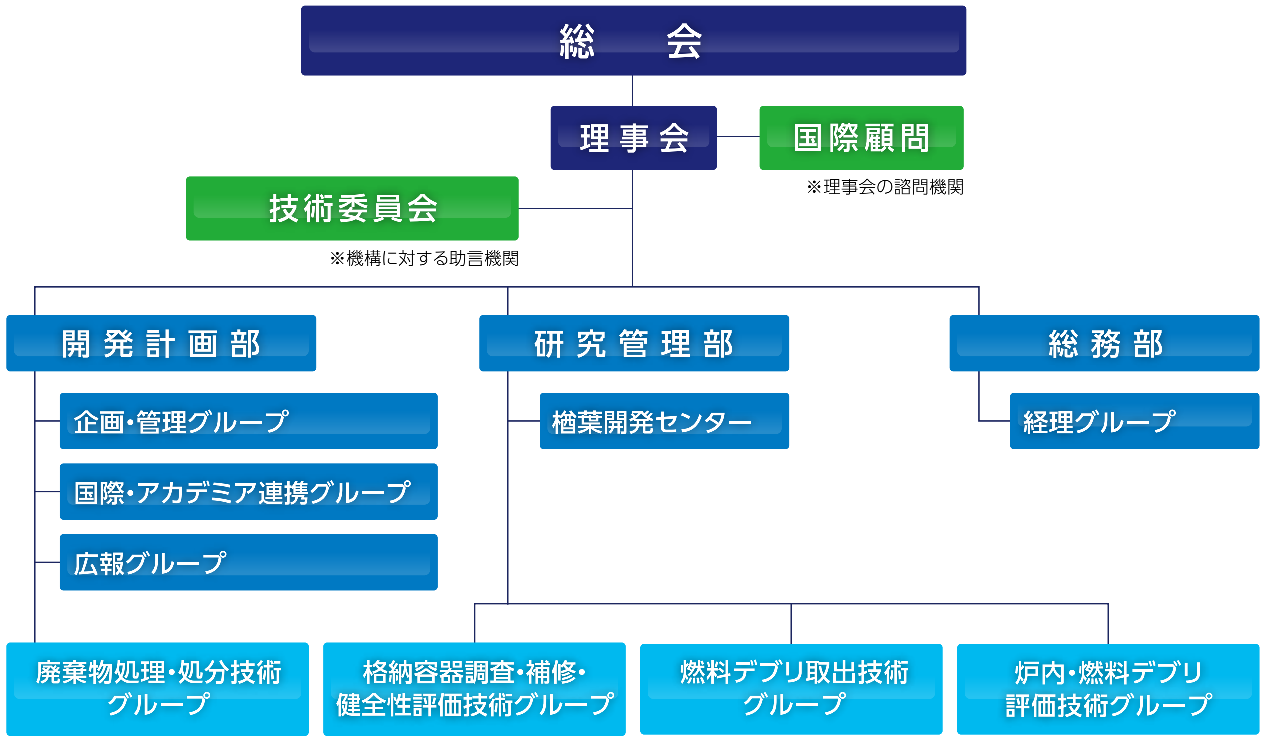
2011年3月に福島第一原子力発電所の事故が発生して4か月が経った同年7月、福島第一原子力発電所の中長期対策の最初の答申が作られました。その際に、国としてこの廃炉に専任的に当たる組織が必要であるとの意見が専門家等から出され、原子力委員会で取り上げられました。

この流れを受け、2013年3月の東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議において具体的に新組織設立の表明がなされました。その後、準備組織を立ち上げて検討を進めてきた結果、同年7月下旬、経済産業省にIRIDの設立認可申請を行い、8月1日に同省大臣から認可をいただきました。その後、8月8日に組織の自主的な議決機関である総会を開催し、活動を開始いたしました。

＜ 事業費の推移 ＞



組織体制

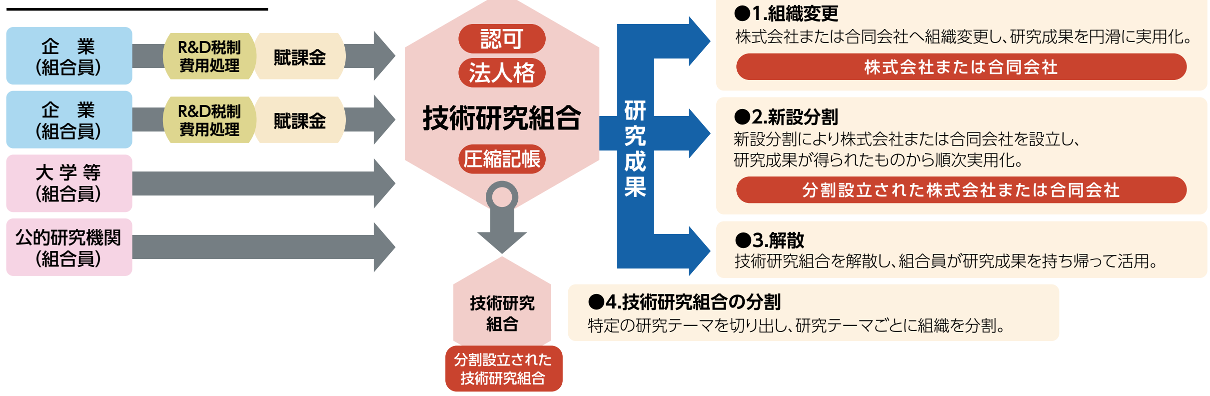


（2018年1月 現在）

参考：技術研究組合とは

技術研究組合は、産業活動において利用される技術について、組合員自らのために共同研究を行う相互扶助組織（非営利共益法人）です。IRIDは組織化の検討にあたって、「技術研究組合」を選択しました。これは迅速に組織化できることに加え、組織運営の透明性・柔軟性といったメリットを勘案したものです。

技術研究組合制度の概要



技術研究組合の特徴

- 各組合員は、研究者、研究費、設備等を出しあって共同研究を行い、その成果を共同で管理し、組合員相互で活用します。
- 組合員から独立した法人格を有する共同研究組織です。
- 主務大臣への設立認可申請や届出、組合員総会・理事会の開催等を通じて、組織運営の透明性と信頼性が高まります。
- 共同研究の成果を直接または間接に利用する者（法人・個人、外国企業・外国人を含む）が組合員になることができます。
- 大学や試験研究独立行政法人、高専、地方公共団体、試験研究を主たる目的とする財団等が組合員として参加できるため、産学官連携の器として活用できます。

（出典）経済産業省ホームページ「技術研究組合とは」より抜粋

IRIDの役割

IRIDは、政府の大方針のもと、福島第一の廃炉に係る関係機関と緊密に連携しながら、廃炉の研究開発に取り組んでいます。
また、廃炉に関する研究開発、国際・国内関係機関との協力、人材育成を3本の柱として活動しています。

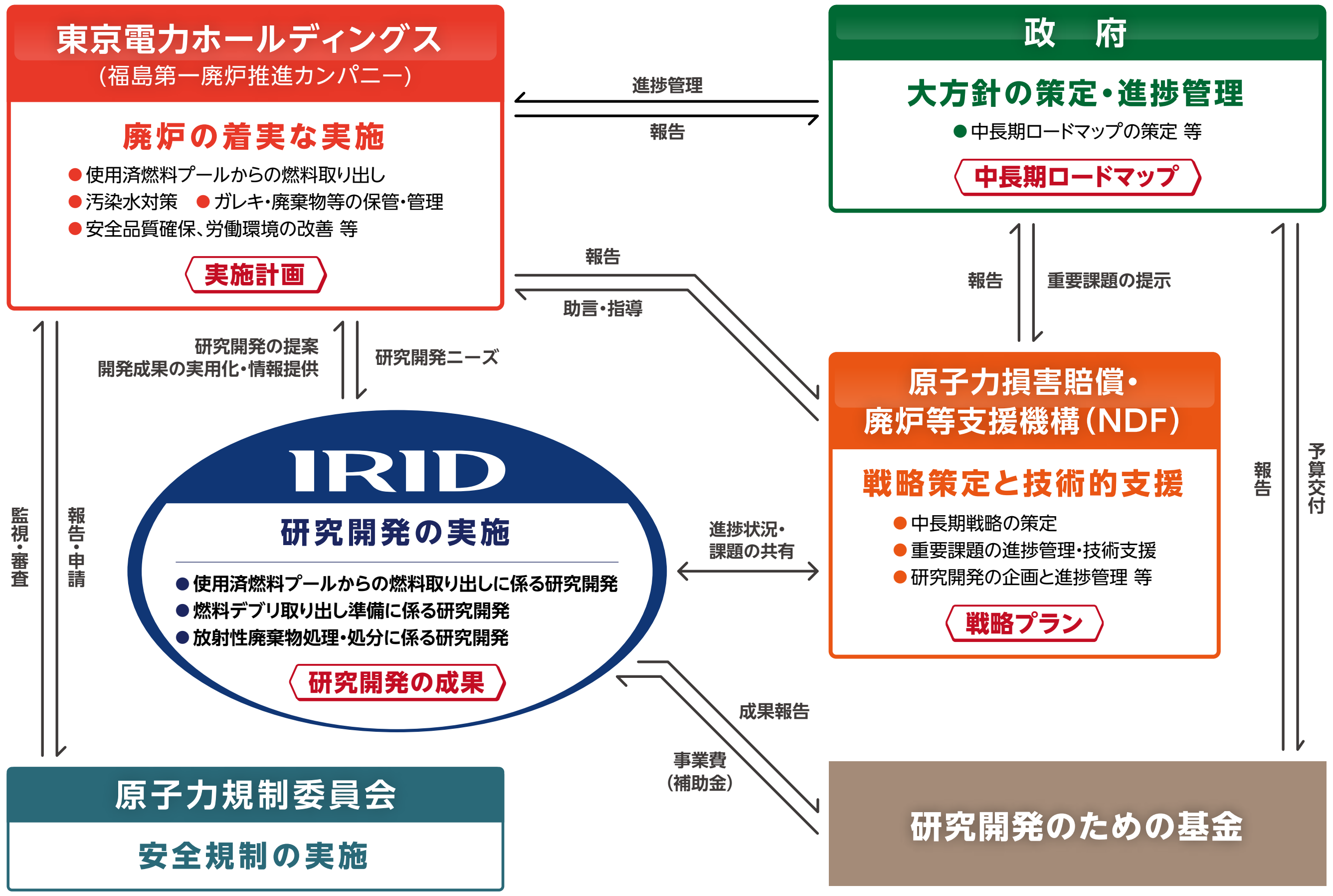
IRIDの活動

IRIDは、福島第一原子力発電所の廃炉の研究開発に中心的に関わる18法人で結成した組織体です。
将来的には、わが国全体の廃炉に必要となる技術の涵養・蓄積と高度化を目指していきますが、当面は福島第一原子力発電所の廃炉を喫緊の課題として、国の中長期ロードマップに基づく研究開発に取り組んでいます。
また、世界的に前例のない極めて困難な福島第一原子力発電所の廃炉の推進には国内外の叡智の結集が必要で、そのためIRIDは、国際・国内の関係機関との協力も進めています。さらに、長期間にわたる福島第一の廃炉作業の継続に必要な人材育成につながる活動にも取り組んでいます。

福島第一原子力発電所の廃炉に向けた役割分担については、廃炉戦略の立案・研究開発プランの策定を行う「原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)」、現場作業を担う「東京電力ホールディングス」、研究開発を実施する

「IRID」の三者が緊密に連携し、一体となって取り組む体制が確立されました。
IRIDは、その一翼を担う組織として、研究開発を通じて福島第一原子力発電所の廃炉に積極的に取り組んでいきます。

福島第一原子力発電所の廃炉に関する役割分担



HISTORY IRIDの取り組み年表

■…組織全般 ■…研究開発 ■…人材育成 ■…国際関係

2013

〈8月〉
○技術研究組合国際廃炉研究開発機構(IRID)設立(17法人でスタート)初代理事長 山名元

〈9月〉
○研究開発に資する人材育成として第1回ワークショップを開催

〈12月〉
○第1回「技術委員会」開催

2014

〈1月〉
○第1回「国際顧問会議」開催

〈3月〉
○吸引・ブラスト除染装置の実証試験を実施

〈4月〉
○低所除染装置(ドライアイスブラスト装置)実機検証を実施
○低所除染装置(高圧水除染装置)実機検証を実施

〈5月〉
○圧力抑制室(S/C)上部調査装置を用いた1号機圧力抑制室(S/C)上部調査を実施
○アトックスが加わり現在の18法人体制になる

〈7月〉
○IRIDシンポジウム2014開催(第1回)(都内)
○水中遊泳ロボットと床面走行ロボットを用いた2号機トーラス室壁面調査を実施

〈8月〉
○原子力損害賠償支援機構が原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)に改組
○第2代理事長 剱田裕史 就任

〈9月〉
○圧力抑制室(S/C)下部外面調査装置を用いた2号機圧力抑制室下部外面調査を実施

〈11月〉
○4号機使用済燃料プールから共用プールに輸送された使用済燃料の調査を実施
○第2回「国際顧問会議」開催

2015

〈2〜5月、5〜9月〉
○ミュオン透過法技術を用いて、1号機を観測

〈4月〉
○ピーモルフ1を用いた1号機格納容器内部調査を実施

〈7月〉
○IRIDシンポジウム2015開催(福島市)

〈12月〉
○上部階用除染装置を開発
○第3回「国際顧問会議」開催

2016

〈3〜7月〉
○ミュオン透過法技術を用いて、2号機を観測

〈4月〉
○JAEA楢葉遠隔技術開発センター内に「実規模試験体」が完成

〈5月〉
○3号機原子炉建屋1階にて高所除染装置(ドライアイスブラスト装置)の実機検証を実施

〈8月〉
○IRIDシンポジウム2016開催(都内)

〈11月〉
○第4回「国際顧問会議」開催

2017

〈2月〉
○サソリ型ロボットを用いた2号機格納容器内部調査を実施

〈3月〉
○ピーモルフ2を用いた1号機格納容器内部調査を実施

〈5〜9月〉
○ミュオン透過法技術を用いて、3号機を観測

〈6月〉
○圧力抑制室(S/C)内充填止水技術の実規模試験を実施
○第3代理事長 石橋英雄 就任

〈7月〉
○水中ROVを用いた3号機格納容器内部調査を実施
○圧力抑制室(S/C)脚部補強技術の実規模試験を実施

〈8月〉
○IRIDシンポジウム2017開催(いわき市)

〈12月〉
○第5回「国際顧問会議」開催

IRIDの役割

中長期ロードマップの概要(2017年9月26日改訂)

福島第一原子力発電所の廃炉は、政府が決定する「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以降、中長期ロードマップ)に基づいて進められています。

中長期ロードマップでは、廃炉作業終了までの期間を第1期〜第3期までの3つに区分し、現在は第2期の「燃料デブリ取り出し準備のための研究開発」にあたります。

なお、現在の中長期ロードマップは、2017年9月に改訂(第4回改訂)されたもので、そこでは、今後の現場状況や研究開発成果等によって見直しが行われることを前提に廃炉の目標工程の目安(マイルストーン)が示されており、2021年内に初号機の燃料デブリ取り出し開始を目指しています。

中長期ロードマップにおける期間区分

(　)内はステップ2完了からの期間

これまでにIRIDは、中長期ロードマップの下、さまざまな研究開発に取り組んできています。その成果として、遠隔ロボットでの原子炉格納容器内部の調査や、宇宙線ミュオンを活用した原子炉内の透視などにより、原子炉内部の状況を視覚的に確認することに成功した一方、乗り越えるべき技術的課題も明らかになってきています。

IRIDは、今後もこの課題に挑戦し続け、2021年内の初号機燃料デブリ取り出し開始に必要な技術の研究開発に全力を尽くします。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

燃料デブリ取り出し関係

- 燃料デブリ取り出し方針の決定　2017年 9月
- 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定　2019年度
- 初号機の燃料デブリ取り出しの開始　2021年内

※2017年9月26日中長期ロードマップ(第4回改訂)をもとに作成

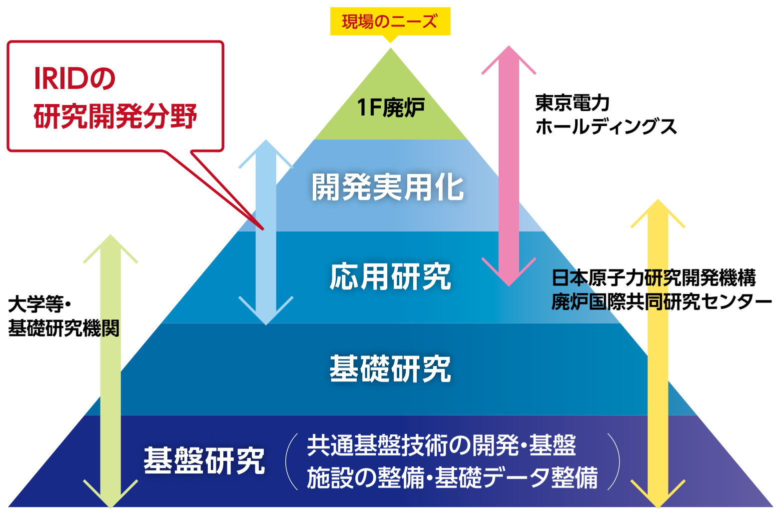
IRIDの研究開発スコープ

廃炉事業

- 原子炉の冷温停止状態の継続
- 滞留水処理(汚染水対策)
- 発電所全体の放射線量低減・汚染拡大防止
- 使用済燃料プールからの燃料取り出し
- **燃料デブリ取り出し**
- 固体廃棄物の保管・管理と処理・処分に向けた計画
- 原子炉施設の廃止措置計画

IRIDのR&D担当分野

研究開発の全体像



※NDF技術戦略プラン2017を参考に一部修正

国の補助金を活用したIRIDの研究開発一覧

平成27年度補正予算および平成28年度補正予算　廃炉・汚染水対策事業費補助金

経済産業省 資源エネルギー庁

(平成29年11月末 現在)※1

事業名	主な事業内容	事業期間	予算	事業費上限(補助率)※2
原子炉格納容器内部調査技術の開発	(1)調査計画・開発の立案更新 (2)特定部位へのアクセス・調査装置及びシステムの開発 (3)現場実証 (4)研究開発の運営	平成28年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	40億円(定額)
原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発	(1)調査計画・開発計画の策定 (2)アクセス・調査装置及び要素技術の開発 (3)研究開発の運営	平成29年4月3日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	34億円(定額)
原子炉圧力容器内部調査技術の開発	(1)調査計画・開発の立案・更新 (2)腐食抑制システムの概念設計 (3)炉心部までの調査方式開発、選定 (4)調査装置全体システムの設計と工法計画 (5)研究開発の運営	平成28年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	20億円(1/2以下)
燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業(小型中性子検出器の開発)	(1)福島第一原子力発電所における燃料デブリ取り出し等に適用可能な中性子検出技術の特定及びその実現可能性調査	平成29年4月24日から平成29年12月29日まで	平成28年度補正(H29年度実施分)	20億円(定額)
総合的な炉内状況把握の高度化	(1)炉内状況の総合的な分析・評価 (2)総合的な分析・評価に資する燃料デブリの挙動や核分裂生成物及び特性推定・評価 (3)研究開発の運営	平成29年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	20億円(定額)
燃料デブリの性状把握・分析技術の開発	(1)燃料デブリ性状の推定 (2)模擬デブリを活用した特性評価 (3)燃料デブリ等の分析要素技術の開発 等	平成29年4月1日から平成31年3月31日まで	平成28年度補正(H29・H30年度実施分)	6.5億円(定額)
原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発	(1)PCV水張りまでのプロセス検討及び計画 (2)PCV下部補修技術の開発 (3)PCV上部他補修技術の開発 (4)補修工法の実機適用に向けた環境改善 (5)研究開発の運営	平成28年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	60億円(1/2以下)
原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験	(1)PCV下部補修技術の実規模試験 ①S/C脚部補強②ベント管止水③S/C内充填止水 (2)試験後の補強材・止水健全性確認 (3)予備シミュレーション試験用のVRデータの整備 (4)研究開発の運営	平成28年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	40億円(定額)
燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化	(1)閉じ込め機能に関する技術開発 (2)燃料デブリ由来のダストの捕集・除去に関する技術開発 (3)燃料デブリ取り出しに伴うα核種モニタリングシステムの検討 (4)工法・システムの安全確保に関する最適化検討 等	平成29年4月3日から平成31年3月31日まで	平成28年度補正(H29・H30年度実施分)	20億円(定額)
燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化	(1)燃料デブリの拡散防止に係る技術開発 (2)取り出し装置開発のための要素技術開発 (3)燃料デブリ取り出し装置の遠隔保守技術の開発 (4)燃料デブリ取り出し時の監視技術の開発　等	平成29年4月3日から平成31年3月31日まで	平成28年度補正(H29・H30年度実施分)	35億円(定額)
燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術の開発	(1)燃料デブリの採取、サンプリングシナリオの検討及び策定 (2)原子炉格納容器内燃料デブリサンプリングシステム及び装置の設計・試作 (3)原子炉圧力容器内燃料デブリサンプリングシステムの概念検討	平成29年4月3日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	15億円(定額)
燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発	(1)輸送・貯蔵に係る調査及び研究計画立案 (2)燃料デブリ収納缶の移送・保管に係る安全要件仕様及びシステム検討 (3)安全評価手法の開発及び安全性検証 (4)燃料デブリの収納形式の検討　等	平成29年4月3日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	12億円(1/2以下)
圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発	(1)大規模地震時における安全シナリオの構築 (2)安全シナリオ構築のため耐震性・影響評価手法開発 (3)安全シナリオの高度化 (4)研究開発の運営	平成29年3月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	10億円(定額)
燃料デブリ臨界管理技術の開発	(1)臨界評価手法の確立 (2)臨界管理技術の開発 (3)研究開発の運営	平成29年4月1日から平成30年3月31日まで	平成27年度補正(H29年度実施分)	10億円(1/2以下)
固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発	(1)性状把握 (2)処分前管理に関わる検討 (3)固体廃棄物の特徴に適した処分概念及び安全評価手法の検討 (4)研究開発成果の統合 等	平成29年4月1日から平成31年3月31日まで	平成28年度補正(H29・H30年度実施分)	20億円(定額)

※1 IRID「事業計画書」に記載されている事業　※2　事業費上限および補助率は、公募要領に記載の数値

事業内容 1 － 廃炉に関する研究開発

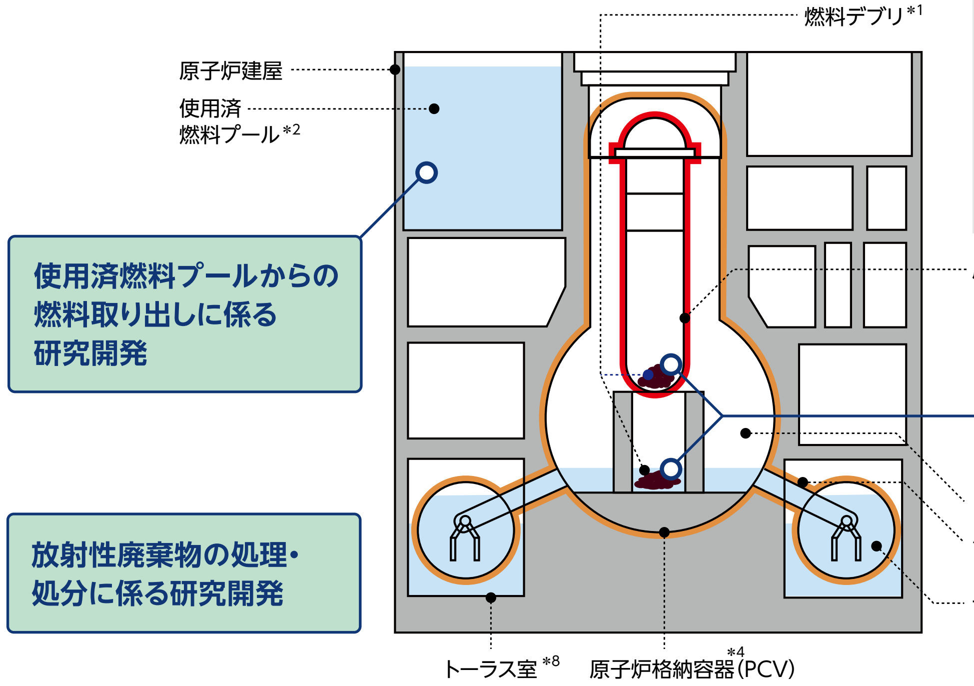
**IRIDの主要な研究テーマは燃料デブリの取り出しです。
2017年「燃料デブリ取り出し方針」が公表され、
それを基にさらなる研究開発を進めてまいります。**

IRIDの研究開発

IRIDでは、中長期ロードマップに沿った福島第一原子力発電所の廃炉を進めていくための研究開発を行っています。廃炉戦略をより高度化していくために、東京電力や関係機関等とタイアップして、エンドステート（最終の最適な姿）をどうしていくのかを見据えながら、他に最適な方法がないか、リスクを下げるにはどうしたらよいのか、といったことを検討しています。

なお、IRIDの行う廃炉に関わる主な研究開発は、**「使用済燃料プールからの燃料取り出しに係る研究開発」、「燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発」、「放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発」**の3つです。

原子炉建屋の概要とIRIDにおける研究開発



（参考）

米国・スリーマイル島原子力発電所2号機で取り出された燃料デブリ
（提供）日本原子力研究開発機構（JAEA）

*1 **燃料デブリ**：高温となった燃料が、制御棒や原子炉圧力容器内の構造物等とともに溶け、冷えて再び固まった物質。

*2 **使用済燃料プール**：原子炉で使用した燃料（使用済燃料）を核分裂生成物の崩壊による発熱が弱まるまでラックに挿入して水中貯蔵・保管するための水槽で、原子炉建屋の最上階に設置されている。

*3 **原子炉圧力容器（RPV）**：燃料集合体を収める鋼鉄製の円筒形容器。原子炉圧力容器の中では核分裂エネルギーによって高温・高圧の水や水蒸気が生じるため、それに耐えることができる容器で、冷却系統設備などとともに原子炉格納容器内に収納されている。

*4 **原子炉格納容器（PCV）**：原子炉圧力容器や冷却系統設備など重要な機器を覆う鋼鉄製の容器。原子炉の事故、原子炉冷却系の破損などの異常時の際、放射性物質が外部に放出されるのを防ぐ役目をする。なお、福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉格納容器は、フラスコ型のドライウェル、ドーナツ型のサプレッションチェンバー、それらを接続するベント管で構成される。

*5 **ドライウェル（D/W）**：原子炉格納容器のうち、原子炉圧力容器等を格納するフラスコ型の容器で、事故時に放射性物質を閉じ込める安全設備。

*6 **サプレッションチェンバー（S/C）**：圧力抑制室。原子炉建屋の地下階にあるドーナツ型の容器で水を貯蔵した設備。原子炉配管破断事故時に発生した蒸気を凝縮し、過大圧力を抑制する設備。また、炉心冷却水喪失事故時に緊急炉心冷却装置（ECCS）の水源の一部になる重要な設備。

*7 **ベント管**：原子炉配管破断事故時に発生した蒸気をドライウェルからサプレッションチェンバーへ導くための接続配管であり、福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉格納容器には各8本ずつ設置されている。

*8 **トーラス室**：原子炉建屋の地下階に、トーラス形状（ドーナツ状）の圧力抑制室（サプレッションチェンバー）が配置されている部屋のこと。

CLOSE UP 燃料デブリ取り出し方針と当面の取り組み

**燃料デブリ取り出しについては、NDFが戦略プランの中で検討した工法の実現性評価およびそれらに基づく提言を踏まえ、
以下の「燃料デブリ取り出し方針」に基づいて、今後の取り組みを進めます。**

1 ステップ・バイ・ステップのアプローチ
取り出しは小規模なものから始め、作業を柔軟に見直しつつ、段階的に取り出し規模を拡大

2 廃炉作業全体の最適化
準備工事から取り出し工事、搬出・処理・保管及び後片付けまで、全体最適化を目指した総合的な計画として検討

3 複数の工法の組み合わせ
格納容器底部には横からアクセス、圧力容器内部には上からアクセスすることを前提に検討

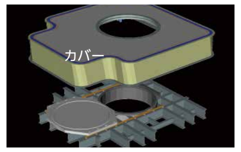
4 気中工法に重点を置いた取り組み
止水の難易度と作業時の被ばく量を踏まえ、現時点では冠水工法が難しく、気中工法に軸足

※冠水工法については、遮へい効果等の利点を考慮し、将来改めて検討の対象とすることも視野。

5 原子炉格納容器底部に横からアクセスする燃料デブリ取り出しの先行
各号機ともに、格納容器底部及び圧力容器内部の両方に燃料デブリは存在
取り出しに伴うリスク増加を最小限とし、迅速にリスクを低減するため、以下を考慮し、格納容器底部・横取り出しを先行
①格納容器底部へのアクセス性が最もよく、内部調査で知見が蓄積、
②より早期に開始出来る可能性、③使用済燃料の取り出し作業と並行し得ること

燃料デブリ取り出し方針を踏まえたIRIDの当面の取り組み ＞ **内部調査の継続的な実施と研究開発の加速化・重点化**

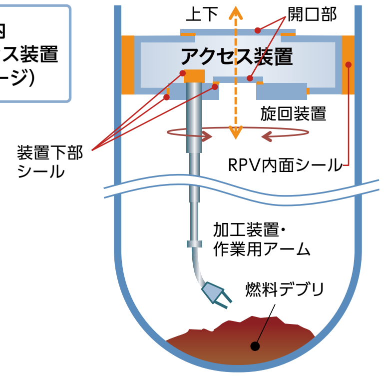
上アクセス工法 ～デブリ取り出しイメージ～



開閉式遮へいポート

ダスト飛散防止用フィルム

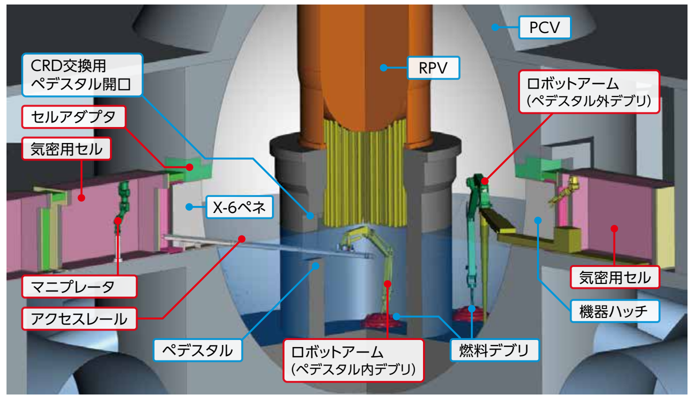
RPV内
アクセス装置
（イメージ）



AR 横アクセス工法：アクセスレール方式 ～取り出しイメージ～

●ペデスタル「内」デブリ⇒X-6ペネからアクセスレールをペデスタル内に挿入させ、ロボットアームを使って回収。
●ペデスタル「外」デブリ⇒機器ハッチからロボットアームを使って回収。

2/3号機のイメージ※



注）赤枠は新設機器　※1号機はX-6ペネ位置が2/3号機とは異なる

※ AR マークのある説明部分や写真をCOCOAR2でスキャンしてください。

IRID研究開発プロジェクト概要図

中長期ロードマップに沿い、炉内調査ロボットや取り出し技術の開発など、燃料デブリを取り出すための研究開発を進めています。

1 …使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発
2 …燃料デブリ取り出しに係る研究開発
3 …放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発

1 ⓐ 使用済燃料プールからの燃料の取り出しに係る研究開発

- 燃料集合体の長期健全性評価
  (燃料集合体表面の堆積物の評価や乾式保管時の燃料健全性評価)
- 長期健全性に係る基礎試験

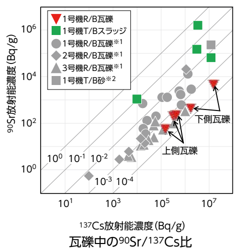
2 除染・線量低減技術

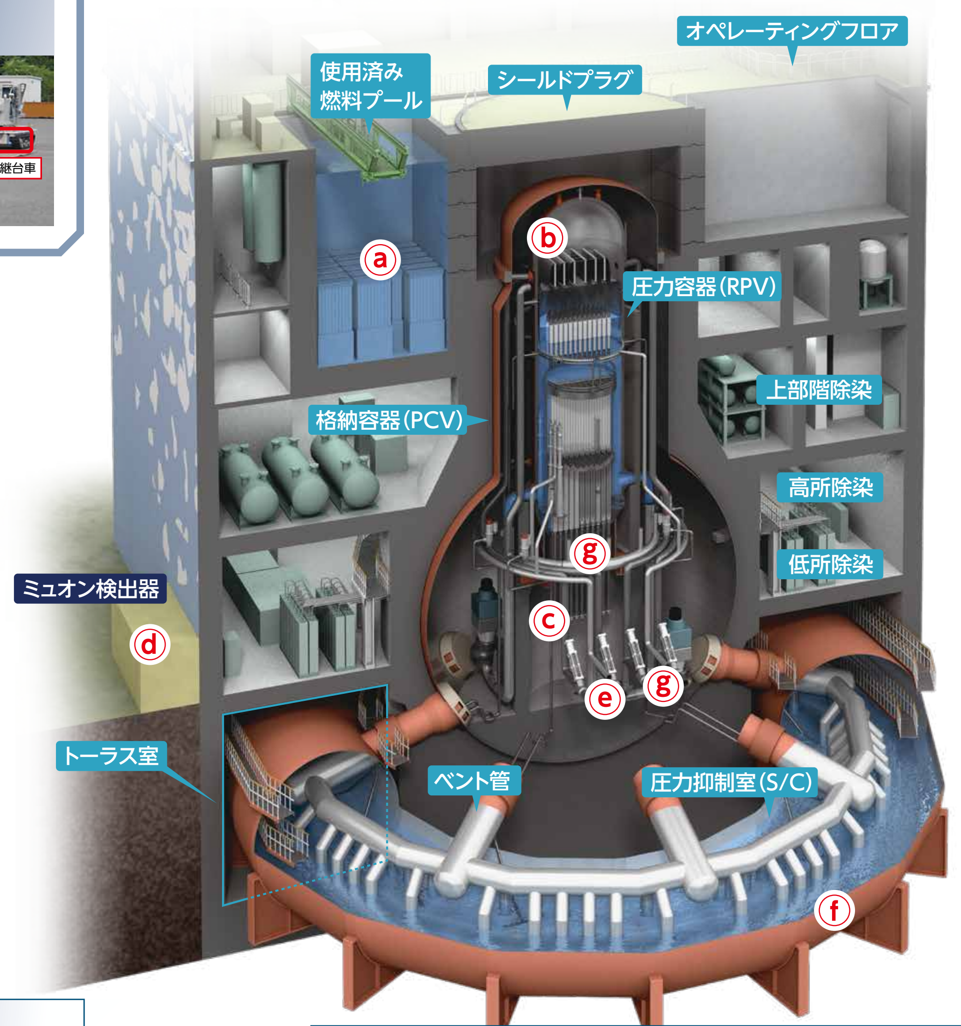
○原子炉建屋内の遠隔除染技術

3 固体廃棄物の処理・処分技術

吸着など各種の試験に用いる実規模吸着塔の外観

ALPSスラリーの脱水処理を検討するための加圧ろ過試験装置

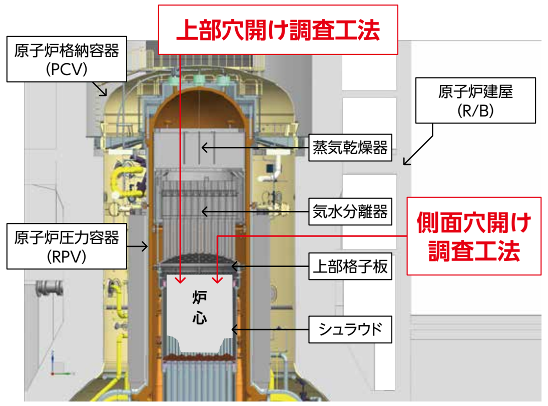

瓦礫中の$^{90}Sr/^{137}Cs$比



2 炉内調査技術

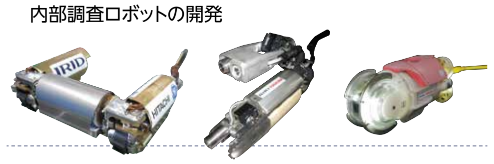
ⓑ原子炉圧力容器内部調査技術

2つの工法の実現性に関する評価(調査工法の概念図)



ⓒ原子炉格納容器内部調査技術

内部調査ロボットの開発

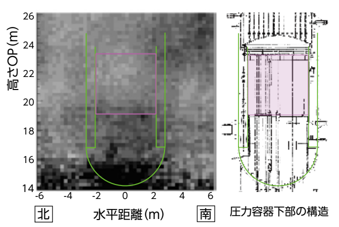


ⓓ燃料デブリ検知技術

宇宙線ミュオンを活用した圧力容器内部の燃料デブリ分布の調査技術

圧力容器底部に燃料デブリと思われる高密度物質の影を確認した。
*2号機における測定は、IRID事業の一環として東京電力ホールディングス(株)により実施されました。

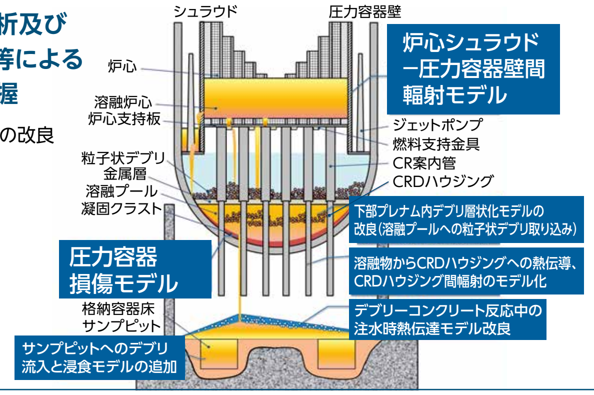
※1ピクセルの大きさ~原子炉断面において約25cm相当



2 炉内調査・解析(性状把握)技術

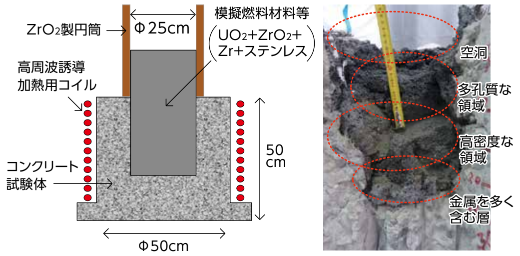
事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握

物理現象モデルの改良



ⓔ燃料デブリ性状把握

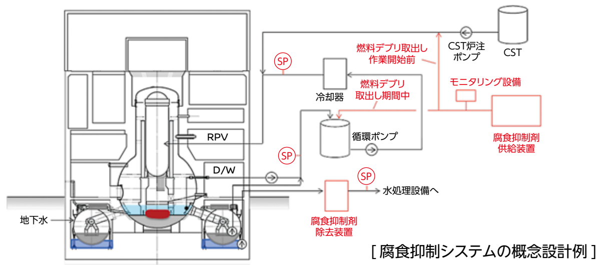
模擬デブリを用いた特性把握



CEAとの協力により実施した大型MCCI試験装置と試験生成物の状況

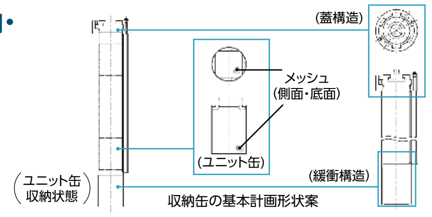
2 ⓖ燃料デブリ取り出し技術

圧力容器／格納容器の腐食抑制技術の開発

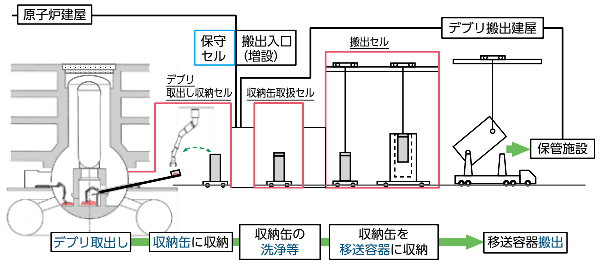


[腐食抑制システムの概念設計例]

燃料デブリ収納・移送・保管技術



収納缶の基本計画形状案



圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発

- 大規模地震時における安全シナリオの構築
- 安全シナリオ構築のための耐震性・影響評価手法の開発
- 安全シナリオの高度化

燃料デブリ臨界管理技術の開発

	第一層 異常の発生防止(PS系)		第二層 異常状態の把握と異常の終息(MS系)	
目標	臨界近接を監視し、臨界を防止する		臨界を速やかに検知し、抑制する	
臨界管理	パラメータ監視 Monitoring	異常発生防止 Prevention	異常検知 Detection	影響緩和 Mitigation
具体的手段(主要項目)	・臨界近接検知システムによる臨界近接監視 ・水位／ホウ素濃度等の監視	・1回のデブリ取り出し量制限 ・ホウ酸水／非溶解性吸収材適用	・中性子束あるいはFPガス濃度による臨界検知	・ホウ酸水、あるいは非溶解性吸収材投入による臨界終息

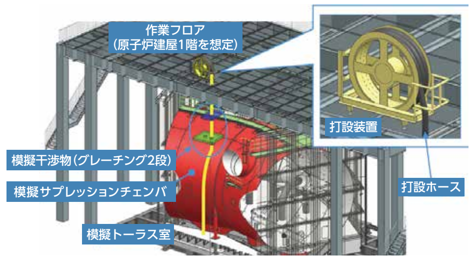
2 ⓕ格納容器補修・止水技術

実規模試験 試験準備状況

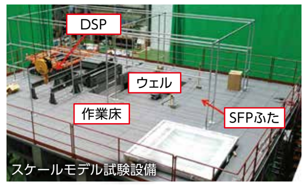
SC脚部補強施工性確認試験の実施状況

S／C脚部補強施工性確認試験

・作業フロアから打設装置を用いた打設ホース設定・回収の作業確認
・通水による施工手順の確認と遠隔監視(モニタリング)性確認



AR 燃料デブリ・炉内構造物の取出技術



スケールモデル試験設備

ロボットアーム

※ AR マークのある説明部分や写真をCOCOAR2でスキャンしてください。

主な研究開発トピック

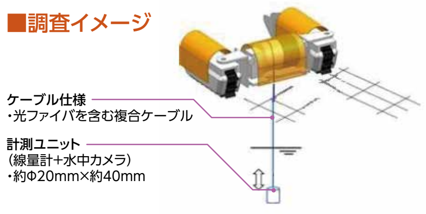
2017年には1・2・3号機内部調査、3号機ミュオン測定、補修技術の実規模試験などの研究開発成果がありました。また、デブリ取り出しに向けた研究開発を進めています。

原子炉格納容器（PCV）内部調査技術

1号機

■1号機PCV内部調査ロボット（ピーモルフ2）

■調査イメージ



■【調査目的】

①ペデスタル外地下階への燃料デブリ広がり状況及びPCVシェルへの燃料デブリの到達有無を確認する。

②自走式調査装置を投入し、ペデスタル外の1階グレーチングからカメラ及び線量計を吊り下ろし、ペデスタル外地下階と開口部近傍の状況を確認する。

■【主な成果】

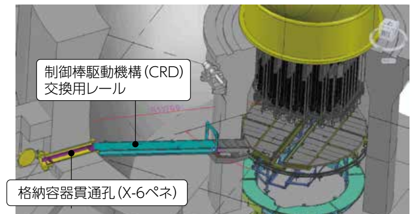
今回ペデスタル開口部近傍のPCV底部の状況を初めて撮影することができた。また、PCV底部に近づくほど線量が上昇する傾向を確認することができた。

＜最下点近傍の画像＞

2号機

■2号機PCV内部調査ロボット（サソリロボ）

■調査イメージ



■【調査目的】

①ペデスタル内次回調査装置への設計・開発フィードバック情報（プラットホームの変形有無等）を取得する。

②ペデスタル内プラットホーム上及び制御棒駆動機構（CRD）ハウジングへのデブリ落下状況、及びペデスタル内構造物の状況を確認する。

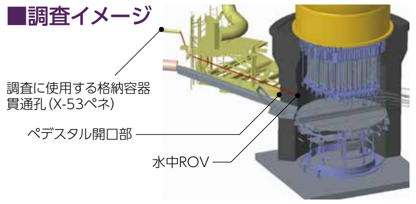
■【主な成果】

ペデスタル内のグレーチングは、外れて脱落しているものや、マス目が不規則に見えるほどの変形をしているものが確認され、堆積物も多く見られた。ペデスタル入口近傍のCRDハウジングサポートには大規模な損傷は見られない。

3号機

■3号機PCV内部調査ロボット（ミニマンボウ）

■調査イメージ



■【調査目的】

①燃料デブリが存在する可能性のあるペデスタル地下階について確認を行う。

②ペデスタル内次回調査装置への設計・開発フィードバック情報（X-6やCRDレールの状況等）を取得する。

■【主な成果】

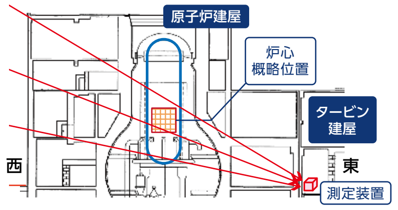
今回の調査で、3号機ペデスタル内部の状況を初めて撮影することができた。ペデスタル内部において、溶融物が固化したと思われるものや、複数の構造物の損傷を確認することができた。

<ペデスタル下部や、ペデスタル内構造物上に溶融物が固化したと思われるものを確認>

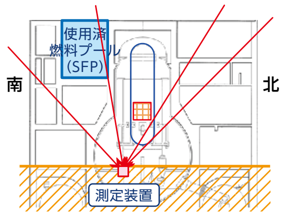
<ペデスタル内において複数の構造物の損傷や落下物を確認した>

宇宙線ミュオンを利用した原子炉内部透視技術

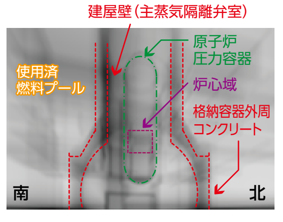
燃料デブリ分布に関する情報を取得するための手段の1つとして、原子炉を透過するミュオンの透過率から原子炉圧力容器内の物質量分布などを把握するミュオン透過法測定があります。3号機において、2017年5月～9月にミュオン透過法測定を実施し、「もともとの炉心域には燃料デブリの大きな塊は存在していない。原子炉圧力容器の底部には、不確かさはあるものの、一部の燃料デブリが残っている可能性がある」との情報が得られました。



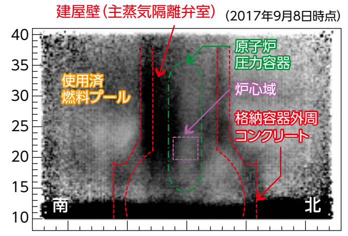
原子炉建屋を透過するミュオンの測定イメージ（東西断面図）



原子炉建屋を透過するミュオンの測定イメージ（南北断面図）



シミュレーションによる物質量分布（密度長）の評価（炉心域、および炉底部に燃料デブリありのケース）



ミュオン測定による物質量分布（密度長）の評価

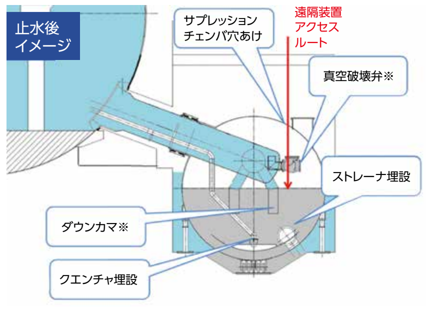
※ AR マークのある説明部分や写真をCOCOAR2でスキャンしてください。

原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術

■ JAEA楢葉遠隔技術開発センターで実規模試験を実施

①サプレッションチェンバー（S/C）内充填止水技術

S/C内外の流路となる配管端部（クエンチャ、ストレーナ）及びS/Cの損傷部（φ50mm以下を想定）を止水することを目的とした技術。



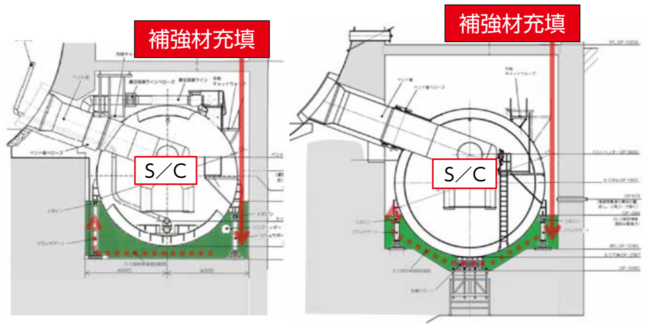
工事試験（コンクリート打設中）

工事試験（ストレーナ埋設前）

実施手順	①サプレッションチェンバへ穴あけ ②サプレッションチェンバ内へ止水材打設 ③ストレーナ、クエンチャを埋設止水 ※ダウンカマ、真空破壊弁を埋設止水（オプション）
候補剤	サプレッションチェンバ内止水材 水中不分離性コンクリート

②サプレッションチェンバー脚部補強技術

S/C内充填止水により止水材の充填による重量増加が見込まれるため、S/Cを支える脚部の耐震補強を目的とした技術開発。



【候補材】水中不分離性モルタル

燃料デブリ取り出しに向けた研究開発 AR

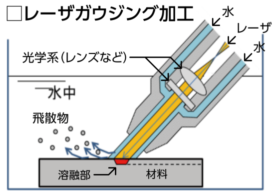
初号機の取り出し方法の確定（2019年度）、および初号機の取り出し開始（2021年内）に向けて、具体的な研究開発を進めています。

基盤技術開発　取り出し工法の基盤となる技術を要素試験（縮尺モデル、実機サイズモデル）により確認する。

切削技術（例）

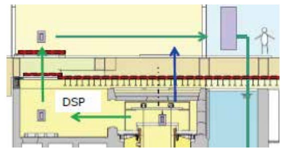
□コアボーリング加工

□レーザガウジング加工

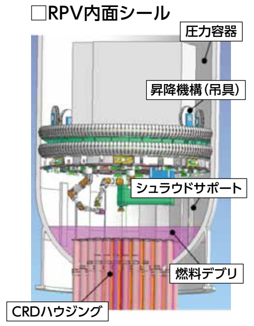


汚染拡大防止・遮へい技術（例）

□上アクセス工法作業ステップ確認



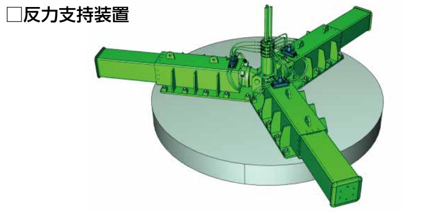
□RPV内面シール



□RPV内アクセス装置

アクセス技術（例）

□反力支持装置



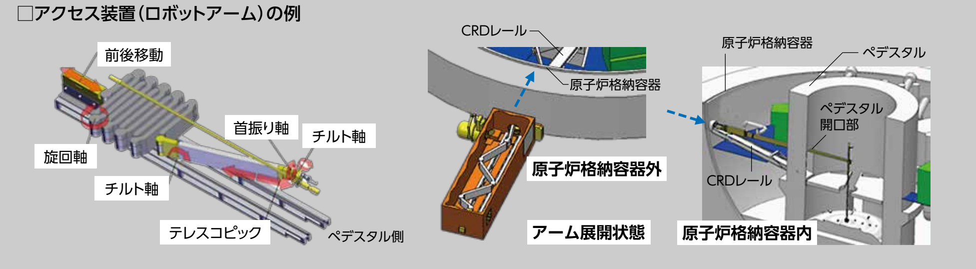
□ペデスタル内アクセスレール

□柔構造アーム

初期段階の燃料デブリアクセス方法

アクセス装置を原子炉建屋1階の格納容器貫通孔から原子炉格納容器内に挿入し、原子炉格納容器底部にある燃料デブリに横からアクセスする検討をしています。

□アクセス装置（ロボットアーム）の例



※ AR マークのある説明部分や写真をCOCOAR2でスキャンしてください。

事業内容 2 ― 海外機関との研究開発の取り組み

「開かれた体制」を運営方針に、海外の研究機関や
専門家との関係を強化。研究開発成果の紹介など
情報発信にも努めています。

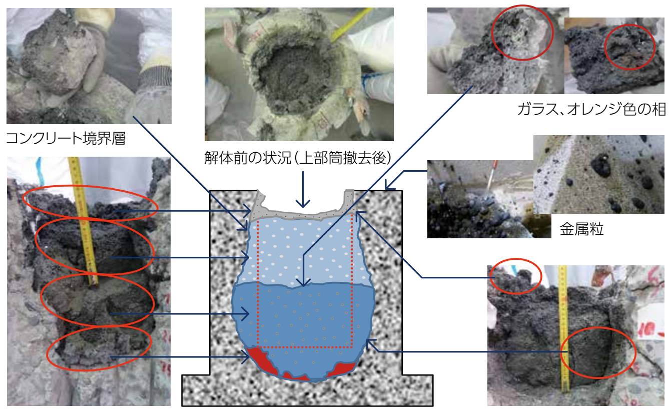
CLOSE UP 国際機関との協力・関係強化

海外機関との研究開発を加速、廃炉に向けて常に最新技術を投入します。

海外の研究機関との共同研究

■フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)

2017年には、コンクリート及び燃料デブリの組成や加熱条件等を福島第一の状況に模擬し、数10kg規模のウランを用いた溶融炉心とコンクリートとの反応(MCCI)試験を行い、生成物の性状分析を実施しています。



MCCI生成物の状況

海外の原子力機関との技術協力

■米国・ミシシッピ州立大学

燃料デブリを切り出す際、燃料デブリ内にある放射性物質を含むダストが発生します。そのため、発生したダストを原子炉格納容器・原子炉建屋内等に閉じ込めるための換気システムを検討する必要があります。類似のシステムを持つ米国の研究関連設備を視察し、技術者と協議することによって、今後のシステム設計に反映します。

■米国・アルゴンヌ国立研究所(ANL)

ANLは、過酷事故時のデブリ-コンクリート反応(MCCI)に関して、DOE(米国エネルギー省)他と多くの実証試験を実施しています。この領域で世界トップレベルの知見を持った研究者との技術討論を通じて、今後のデブリ取り出し工法や加工技術等へ参考となる情報を得ました。

国際顧問

国際顧問は、IRIDの理事会に対して、組織運営・マネジメント等についてアドバイスを行うことを目的として設置した諮問組織で、海外の原子力関連の専門家3名で構成しています。

IRIDの国際的取り組みや運営の方針等に関して議論を行うとともに、今後の課題や改善点についてアドバイスをいただいています。

■メンバー ※写真左から

○**メラニー・ブラウンリッジ教授(イギリス):**
英国原子力廃止措置機構(NDA)技術担当本部長

○**ルイス・エチャバリ氏(スペイン):**
OECD/NEA前事務局長
(IAEA国際原子力安全グループ(INSAG)等の経験を有する)

○**レイク・バレット氏(アメリカ):**
独立コンサルタント(米国・スリーマイル島原子力発電所事故時米国原子力規制委員会[NRC]現地責任者)

海外への情報発信

国際関係機関等が主催するフォーラム等でIRIDの研究開発成果を紹介しています。

第7回 日越原子力研究・人材育成フォーラム(2016年11月24日)
福島の現状と廃炉に関する研究開発の状況を報告しました。

ICAPP2017プレナリーセッション「Fukushima Report」活動報告(2017年4月28日)
IRIDの研究開発の現状「Overview of IRID R&D Projects」について報告をしました。

第34回 日韓原子力専門家会合(2017年10月16日)
「燃料デブリ取り出しに向けてのIRID研究開発状況」と題して、廃炉に関する研究開発状況を報告をしました。

マサチューセッツ工科大学・東工大革新的原子力システムに関するワークショップ(2017年10月27日)
「R&D activities for Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Decommissioning」と題して、廃炉に関する研究開発状況のうちPCV内部調査、デブリ取り出し技術開発を中心に報告をしました。

海外機関との研究開発の取り組み(主要一覧)

○**イギリス**/セラフィールド社:損傷燃料の取扱と安全保管、臨界管理

○**フランス**/原子力・代替エネルギー庁(CEA):MCCI試験

○**ハンガリー**/パクシュ原子力発電所:損傷燃料の取扱と安全保管

○**カザフスタン**/国立原子力研究センター(NNC):デブリ性状把握試験

○**オーストリア**/IAEA:技術情報収集

○**アメリカ**
- ・パシフィックノースウェスト国立研究所:損傷燃料の取扱と安全保管
- ・ハンフォード施設:損傷燃料の取扱と安全保管、デブリダストの換気システム検討
- ・アイダホ国立研究所:TMI-IIの知見の情報収集
- ・アルゴンヌ国立研究所:デブリ性状把握の情報交換
- ・ロスアラモス研究所:デブリ検知技術の開発
- ・カリフォルニア大学バークレー校:固体廃棄物の処理・処分研究開発
- ・ミシシッピ州立大学:デブリダストの換気システム検討

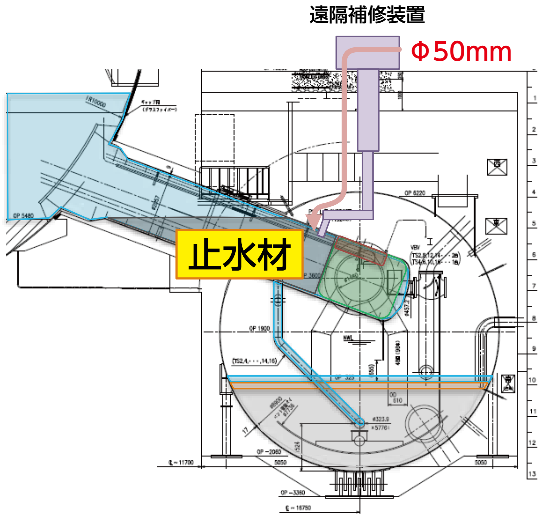
事業内容 3 － 研究開発を通じた人材育成

廃炉事業は、30～40年に亘る長期事業であるため、
若い人に廃炉技術に係わる仕事に携わっていただく必要があります。
IRIDはこの分野に興味や関心を持っていただけるような
人材の育成につながる取り組みを進めています。

CLOSE UP 大学と連携した研究開発（実績）

■ベント管止水用自己充填コンクリートの開発【高知工科大学 大内研究室】

ベント管止水に使用する止水材の選定には、小口径ホース内を閉塞せずに通過する性能（小径ホース圧送性）と、流水環境下でも積み上がる性能（流水環境下止水性）の両立が要求されます。これまで選定したモルタル系材料とゴム系材料がこの条件を満たさなかったため、高知工科大学と連携し、条件を満たす自己充填性コンクリートを新たに選定しました。



配合条件の検討
（コンクリート比率、添加剤の種類や量等）

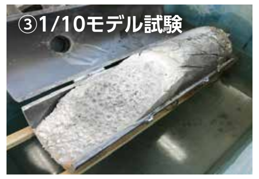
性能確認試験

①基礎特性確認
- 流動性（スランプフロー）
- 粘性（Vロート流下時間）
- 範囲把握（選定）⇒止水性確認試験

②圧送性試験（15ケース）
- 塩ビ管通過（L字管）
- 配合選定（流動性、粘性、保持時間）

③1/10モデル試験
- 充填、止水性確認

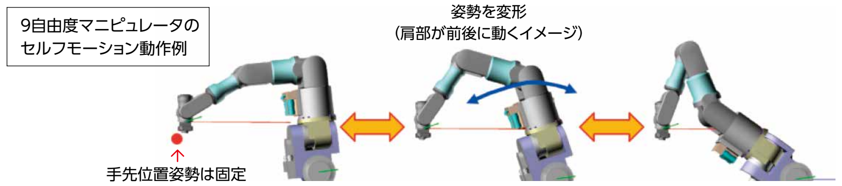
最適配合決定



■操作性向上【神戸大学 横小路研究室】

多関節マニピュレータの操作性向上のため、直感的にセルフモーション*の運動指令ができる操作インターフェースを開発

*マニピュレータの手先とベースを固定した状態で全体の形を変化させる動作



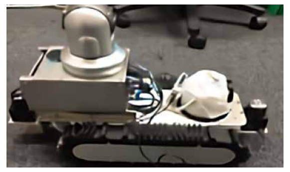
■臨界管理技術の開発【京都大学 三澤研究室】

臨界発生を防止する中性子吸収材の核特性確認試験や、臨界近接の兆候を事前に捉える臨界近接監視技術の成立性確認試験を、京都大学臨界集合体実験装置（KUCA）で行いました。

KUCAでの試験の様子

■遠隔協調移動制御システムの開発【芝浦工業大学 松日楽研究室】

複数のクローラ台車による遠隔除染システムの操作者省人化を目的に、芝浦工業大学と連携し、自律的に台車間の間隔を調整し障害物を回避しつつ先頭台車を追尾する機能の構築や、多様なロボットシステムに共通的に使用できる制御プラットフォームを適用した検証試験を行いました。

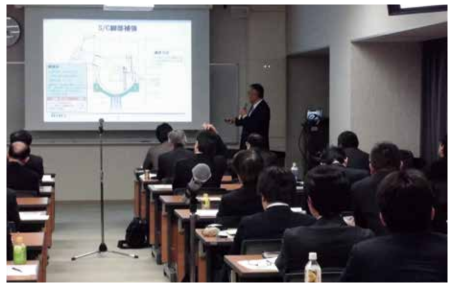


先頭台車

大学とのワークショップなどを通じての人材育成

1. 大学とのワークショップ

国の廃炉プロジェクトの一部を分担実施していただいた大学との連携の強化、若手研究者とのコミュニケーションを深めるための活動を積極的に進めています。

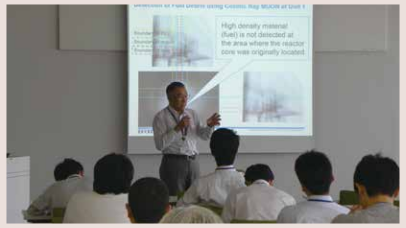


東京工業大学とのスモールワークショップ（2017年1月20日）

東京大学とのワークショップ（2017年11月1日）

2. 大学・研究機関等への情報発信

大学・研究機関等に出向き、情報発信を通じての人材育成に積極的に取り組んでいます。



Fukushima Research Conference ConFDec2017での講演（2017年9月5日）

福島工業高等専門学校での講義（2017年9月13日）

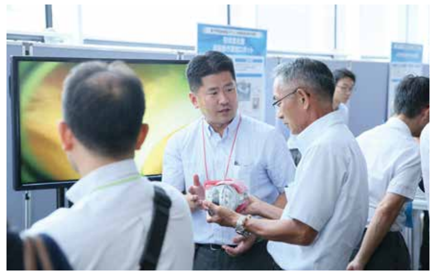
東北大学 軽水炉安全セミナー（2017年9月21日）

3. IRIDシンポジウムの開催

2017年度のシンポジウム（いわき開催）は、「燃料デブリ取り出しに挑む」と題して、これからの廃止措置を担っていく若手研究者、技術者の育成に資することを目的として開催、当日は300名を超える方にご参加いただきました。

またシンポジウム翌日には、シンポジウムにパネル出展をした学生や大学院生、高専生による、福島第一原子力発電所およびJAEA楢葉遠隔技術開発センターのサイト見学が行われました。

シンポジウム講演会



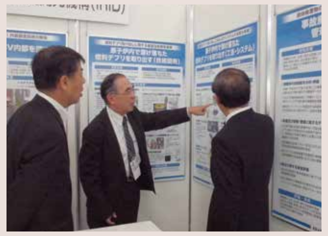
展示ロボット説明

学生の施設見学

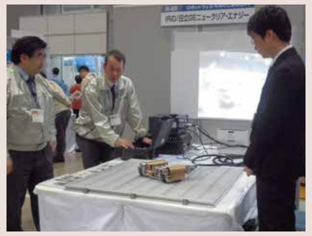
4. 各種イベントへの参加

学会等、各種機関での講演やイベントに積極的に参加しています。

「2017年秋の原子力学会」での発表（2017年9月）



「RADIEX2017環境放射能対策・廃棄物処理国際展」への出展（2017年10月）



「ロボットフェスタふくしま2017」への出展（2017年11月）

IRID
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
〒105-0003
東京都港区西新橋 2-23-1　3東洋海事ビル5階
TEL 03-6435-8601(代)
http://www.irid.or.jp

スマートフォンアプリ「COCOAR2」で、廃炉の状況をもっと詳しく知ろう!

本誌に掲載している内容について、動画やWEBサイトで、さらに詳しい情報を閲覧することができます。
AR マークのある説明部分や写真をCOCOAR2でスキャンしてください。

最初に、スマートフォンアプリ「COCOAR2」をインストール!

※COCOAR2アプリは無料アプリです。

STEP 1 「COCOAR2」アプリのインストール

「App Store」もしくは「Google Play」で「COCOAR2」と検索し、インストールしてください。

または、左側のQRコードを読み込み、「COCOAR2」アプリをインストールしてください。

STEP 2 「COCOAR2」を起動してかざす

「COCOAR2」アプリを起動し、指定画像にかざしてスキャンしてください。

Check カメラマークを押すと撮影することもできます。

※掲載期間によって、撮影[スキャン]箇所が変わることがございます。ご容赦ください。

発行:2018年1月

この印刷物は再生紙を利用しています。

GREEN PRINTING JFPI
P-A10025
この印刷製品は、環境に配慮した資材と工場で製造されています。