



平成29年3月17日(金)
最終講義
人とエネルギー

東京海洋大学
海洋工学系海洋電子機械工学部門教授
賞雅 寛而(たかまさともじ)

大学の教育

→社会に出てからの自分の判断・選択力を養う訓練の場

- ・無駄や失敗を恐れずに幅広く挑戦しなければ得られない己の経験
- ・判断・選択のための**コミュニケーションネットワーク**を構築する力

大学の研究

→我々人類の将来に必要なあるいは望まれる新しいアイデアを生み出し、それを具現化体系化していく

- ・研究者個人の思い付きと(時には無謀な)推進力
- ・信頼できる同僚・様々な分野の研究者仲間との**コミュニケーションネットワーク**

日本が管理する海域(排他的経済水域EEZ)



権利
水産資源・鉱物資源
探査と開発

義務
資源管理
海洋汚染防止

二酸化炭素・工業排気
ガス(地球規模の影響)

海水温上昇
海水の酸性化

サンゴ礁・貝類の減少
海底の砂漠化 →
大きな生態的影響

海洋国家としての力

指標	海洋			造船	海運	漁獲量	国民総生産
	排他的経済水域	排他的経済水域海水量	海岸線長さ				
1	アメリカ	アメリカ	カナダ	中国	ギリシャ	中国	アメリカ
2	ロシア	オーストラリア	インドネシア	日本	日本	インドネシア	中国
3	オーストラリア	キリバス	フィリピン	韓国	ドイツ	インド	日本
4	インドネシア	日本	日本	アメリカ	中国	ペルー	ドイツ
5	カナダ	インドネシア	オーストラリア	台湾	韓国	アメリカ	フランス
6	日本	チリ	ノルウェー	イタリア	ノルウェー	ベトナム	イギリス
7	ニュージーランド	ミクロネシア	アメリカ	ブラジル	アメリカ	フィリピン	ブラジル
8	ブラジル	ニュージーランド	ニュージーランド	スペイン	デンマーク	日本	ロシア
9	チリ	フィリピン	中国	ノルウェー	イギリス	チリ	イタリア
10	キリバス	ブラジル	ギリシャ	オランダ	シンガポール	ロシア	インド

2014年 本学研究者登録・小規模大学評価 トムソンアンドロイター

- 1 California Institute of Technology
- 12 Tokyo Medical and Dental University
- 16 Yokohama City University
- 20 Tokyo University of Marine Science and Technology (TUMSAT)

The 2,597 students are enrolled on degrees in the physical sciences and marine technology



Times Higher Education (THE)

Small universities : Yet even with fewer than 5,000 students, the best small universities offer a wide range of academic opportunities

Small universities : 630 in Japan and more than 20,000 in the world

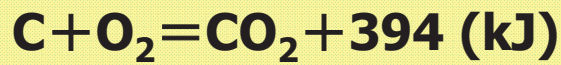
エネルギー

電気、化学、太陽、位置、原子力、
運動、弾性、化石、地熱

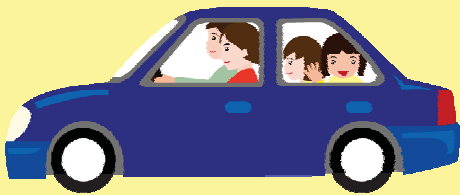
海洋エネルギー

風力、潮汐、海流、波浪、海水温度差、
石油、メタンハイドレート

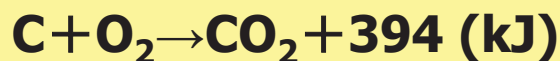
炭素 + 酸素 → 二酸化炭素 + エネルギー



ガソリン 燃焼 排気ガス
食事 呼吸



炭素燃焼エネルギー



ガソリン50リットルを使用したとき排出される
CO₂は何kg?

ガソリンの組成を純炭素、1リットル=1kgと
すると、C:12g O:16g

$$50 \times 44 / 12 = \mathbf{180kg}$$

光合成 葉緑素

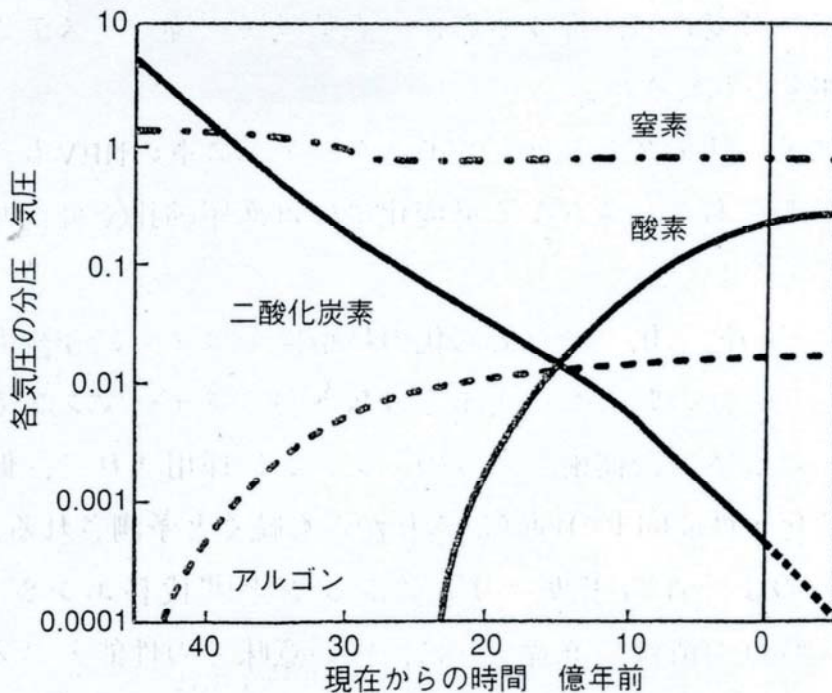
二酸化炭素 + 水 + エネルギー(光)
→ 炭水化物(炭素 + 水) + 酸素

炭素は、幹・枝・葉・果実になる
海洋では植物プランクトン、海藻



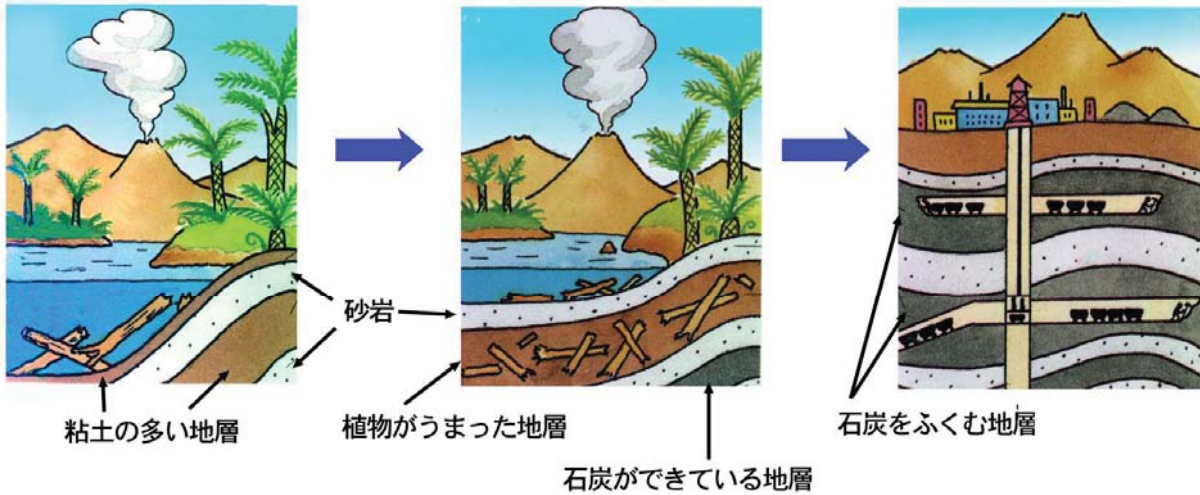
図9 大気組成の変化

海洋における植物プランクトンが
主として光合成



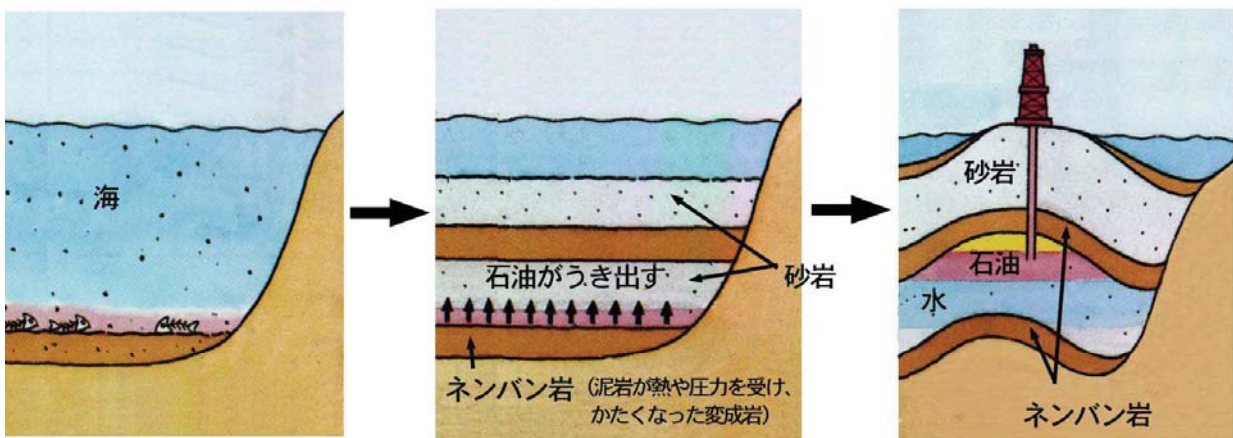
石炭のできるまで

地下深くで古代の植物の炭化がすすみ、長い時間かかって
おし固められて石炭になる。



石油のできるまで

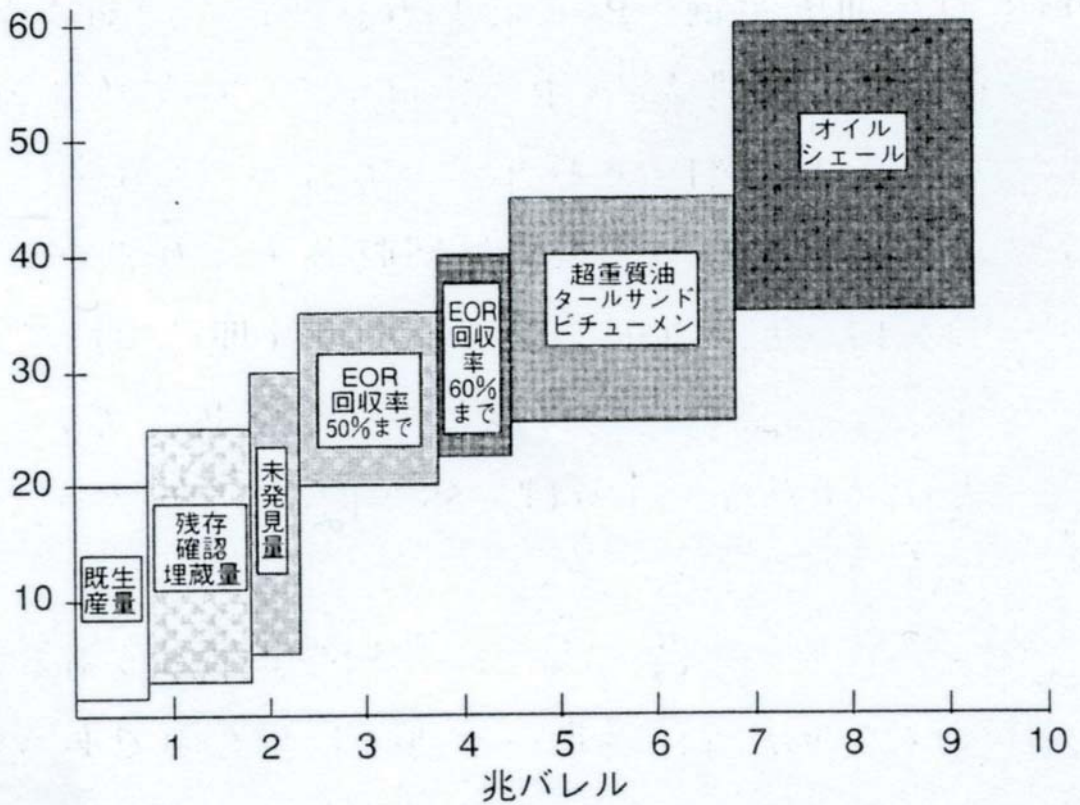
地下深くうまった生き物の死がい、地下の高温・高圧により、長い時間
かかって石油になるという説が有力。一方、地球誕生の材料となった炭素
と水素が地下に閉じ込められて石油ができたとする説もある。



生き物の死がい、海底にたまる。

石油はネンバン岩にはさまれた層にたまる。

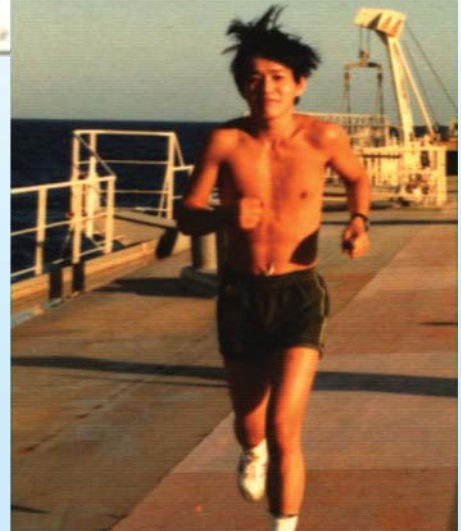
石油の層はプレートの動きで
曲げられると、その層の上部
に大量にたまる。



1バレル ≒ 150 ℓ 1バレル : 50ドル = 6,000円 1 ℓ : 40円



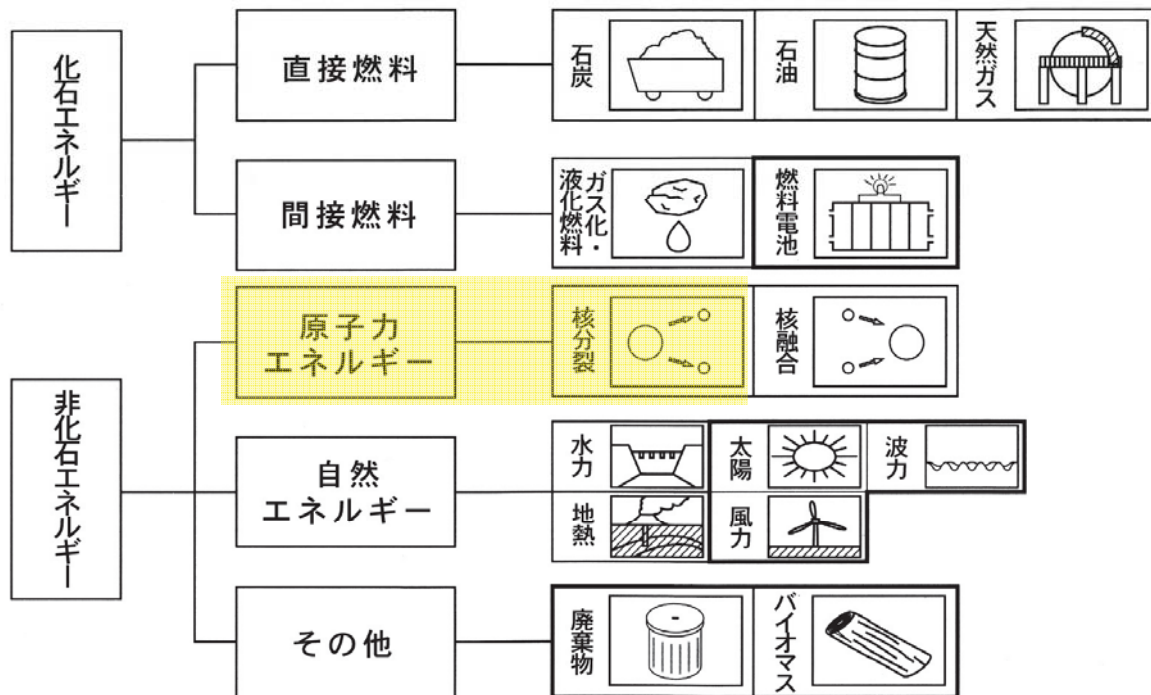
1987年 タンカー甲板
商船三井 大峰山丸



航海日数片道20日
12,000km
日本は1日100万トンの
石油が必要
20万トンタンカー 5隻

シーレーン
我が国の安全保障

エネルギー源の種類



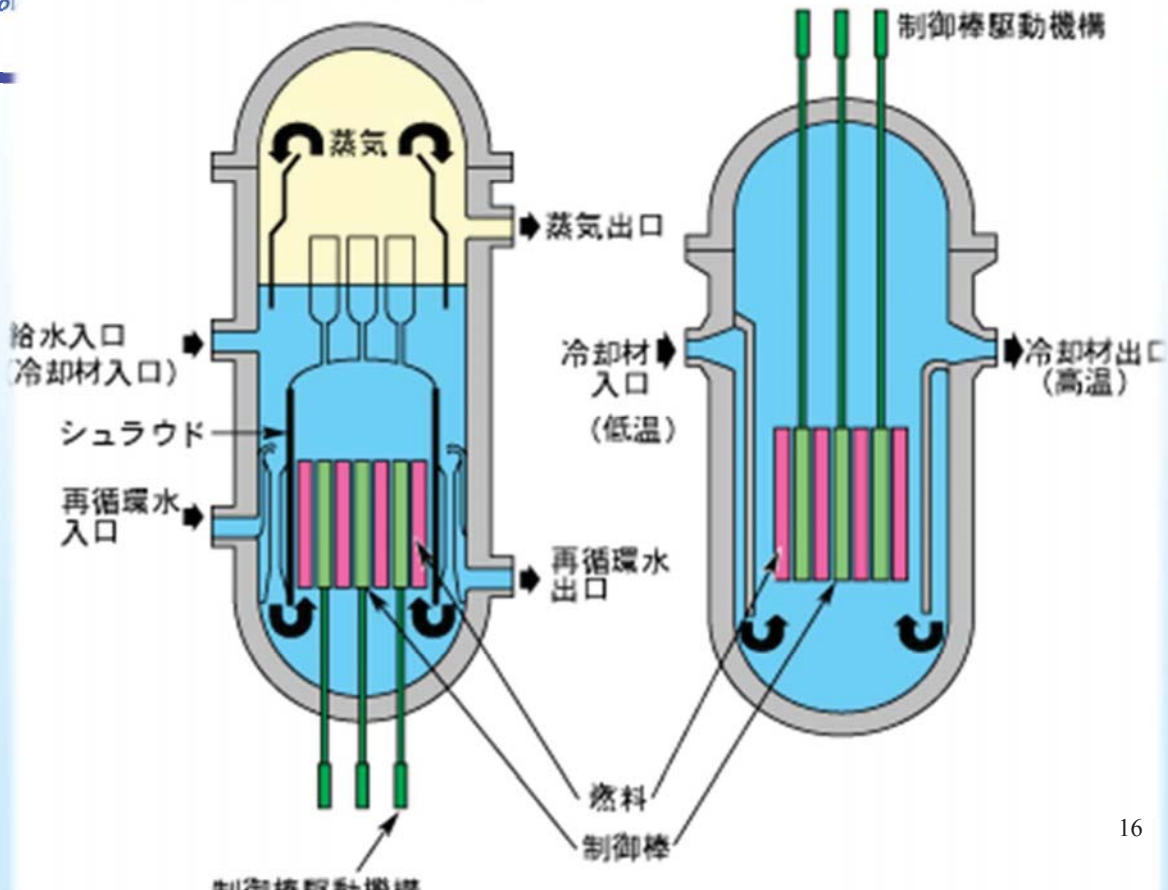
(注) 太線内は新エネルギーとも呼ばれている

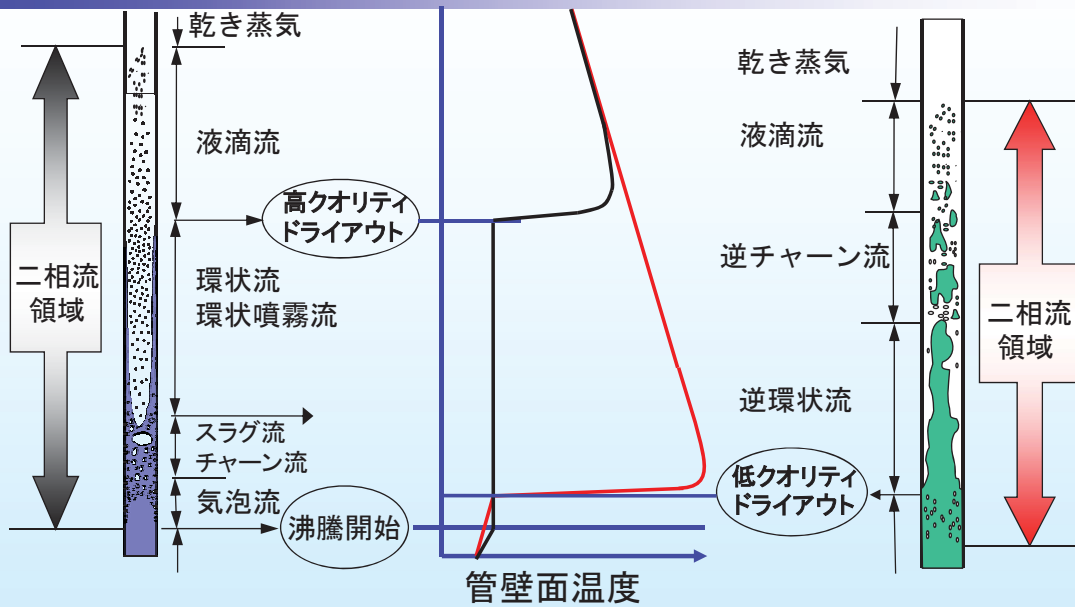
出典：電気事業連合会『原子力四十年』(2000年)



沸騰水型炉 (BWR)

加圧水型炉 (PWR)





気泡 (蒸気) の分布→1) 管壁からの伝熱→安全な除熱
2) 中性子減速→原子炉出力コントロール

1. 蒸気爆発(1978-1982)

2. 気液二相流の現象・理論(1985-2006)

粗管壁、壁面濡れ性、U字管、細管、微小重力環境下

3. 気液二相流の計測(1992-2005)

ステレオ画像処理、レーザーフォーカス変位計(LFD)

4. 蒸気噴出・凝縮振動(1991-2000)

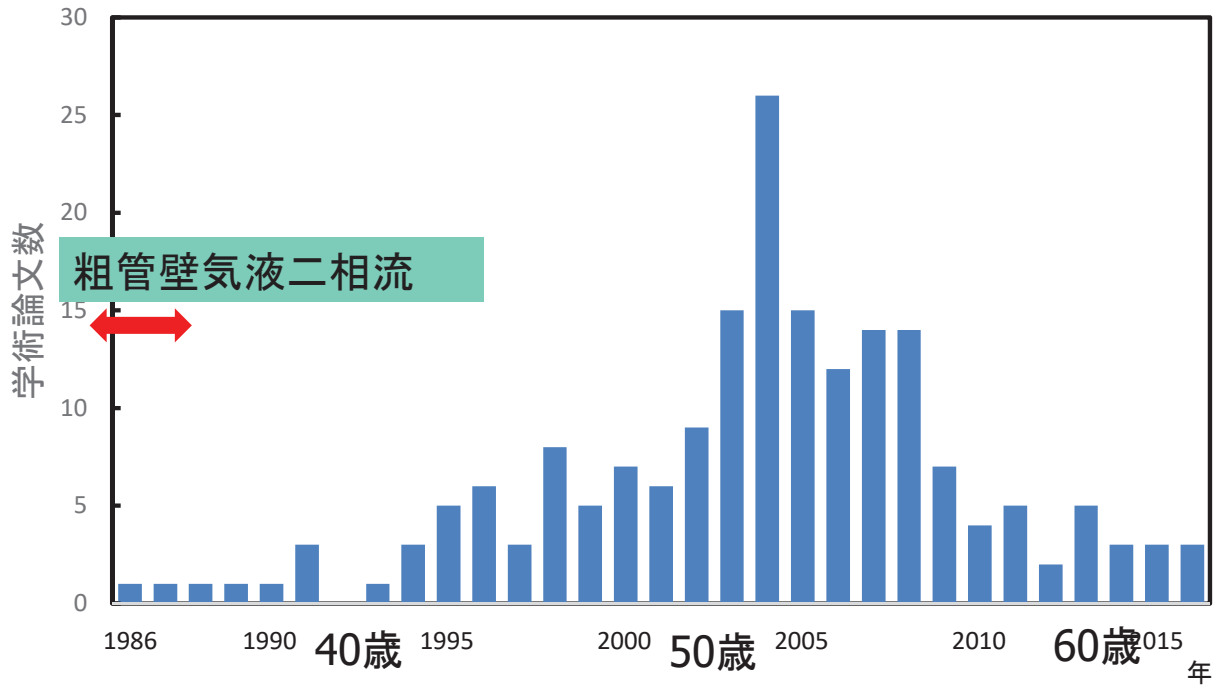
5. 放射線誘起表面活性(1998-2007)

気液二相流(濡れ性、ライデンフロスト、リウエットィング、沸騰)

放射線検出、防食

6. 急速充電対応型電池推進船の開発(2009-)

急速充電、無人自動化、無動揺化

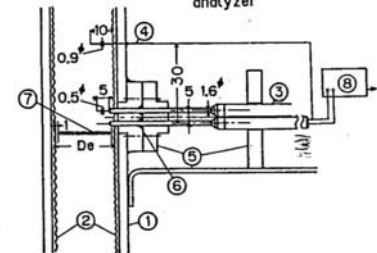


粗管壁二相流(1985-1988)

空気-水系上昇気液二相流の
発達

粗面壁(エメリクロス)管→液乱流
増加による気液二相流発達促進

- ① Test tube
- ② Emery sheet
- ③ Double void probe
- ④ Erectrode needle
- ⑤ Probe supporter
- ⑥ O-ring
- ⑦ Measuring points
- ⑧ Two-phase flow analyzer



- ① Test tube
- ② Emery sheet
- ③ Differential-pressure transducer
- ④ Transducer supporter
- ⑤ FFT analyzer
- ⑥ Amp
- ⑦ Stainless tube

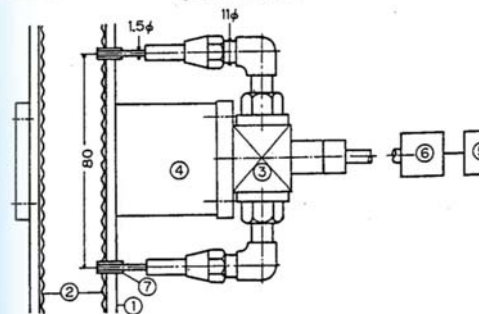


Fig.2 Void probe and differential pressure transducer

鞍型分布(気泡が壁面近くを流れる)

→発達

乗則分布(気泡が管中心を流れる)

壁面粗さが増すと発達が助長される?

25mm管 長さ4m 空気・水垂直気泡流

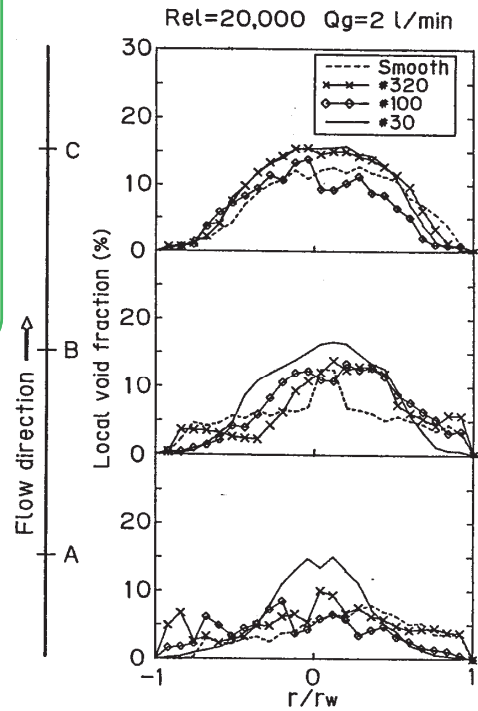
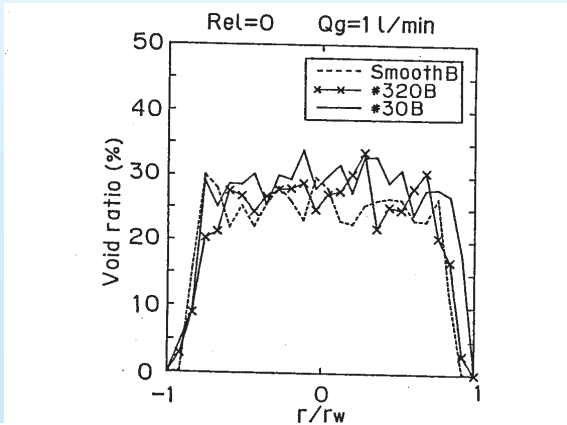
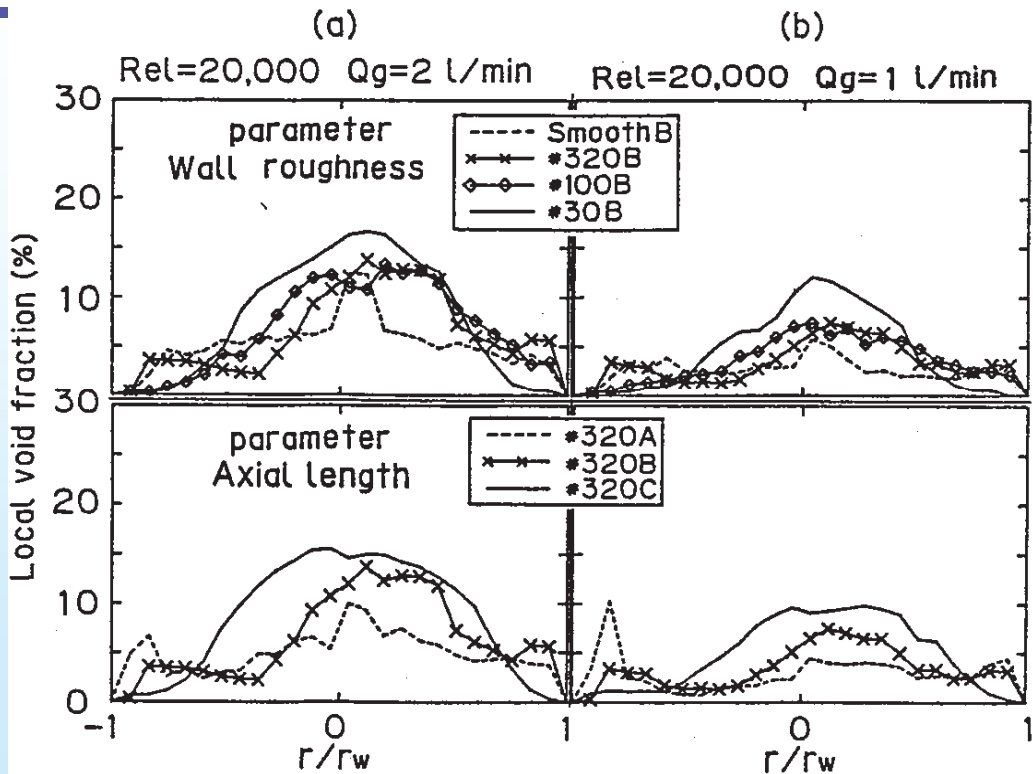


Fig.3 Effects of wall roughness on void profile in developing vertical air-water flow

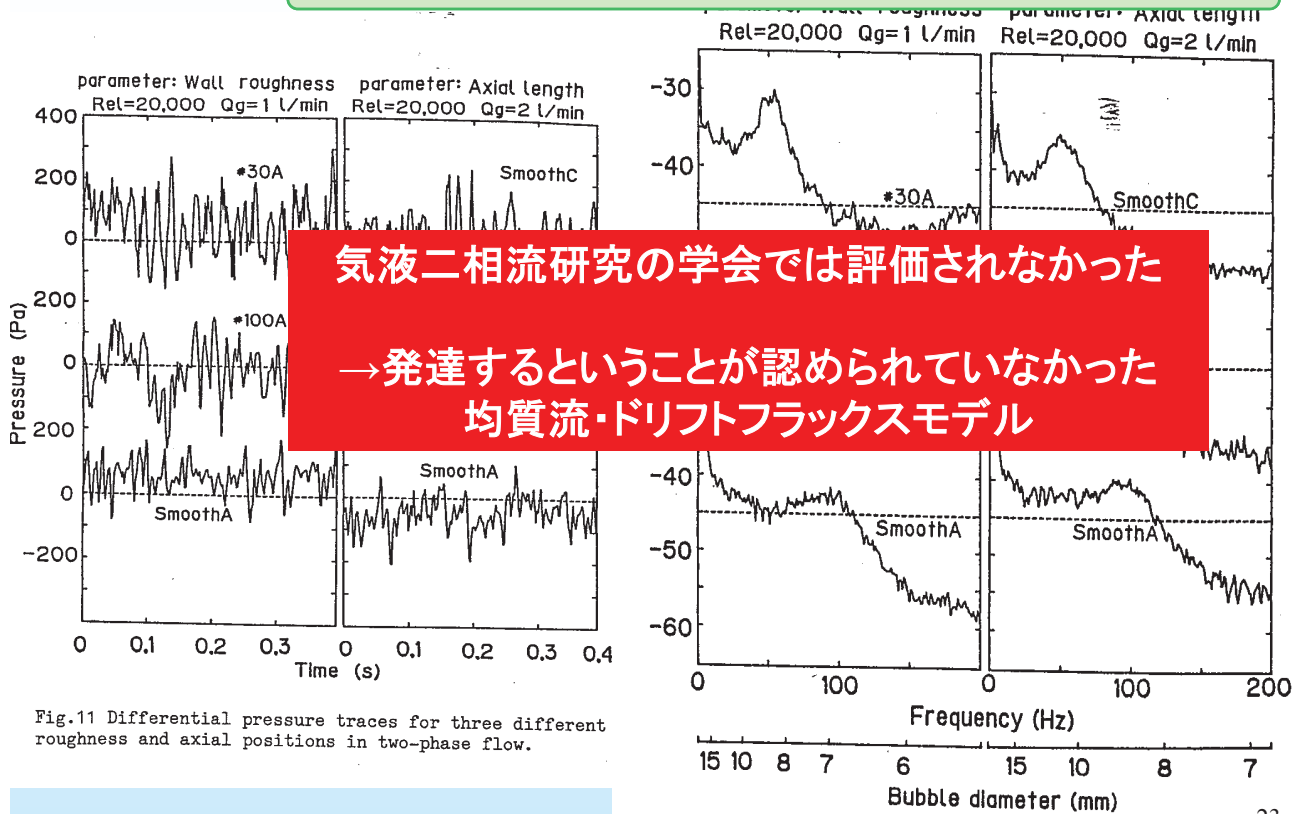
21

助走距離によるボイド分布の変化と壁面粗さによるボイド分布の変化は同じ



22

助走距離による差圧振動の変化(気泡径の大きさ、通過頻度)と壁面粗さによる差圧振動の変化は同じ



研究内容

1. 蒸気爆発(1978-1982)

2. 気液二相流の現象・理論(1985-2006)

粗管壁、壁面濡れ性、U字管、細管、微小重力環境下

3. 気液二相流の計測(1992-2005)

ステレオ画像処理、レーザーフォーカス変位計(LFD)

4. 蒸気噴出・凝縮振動(1991-2000)

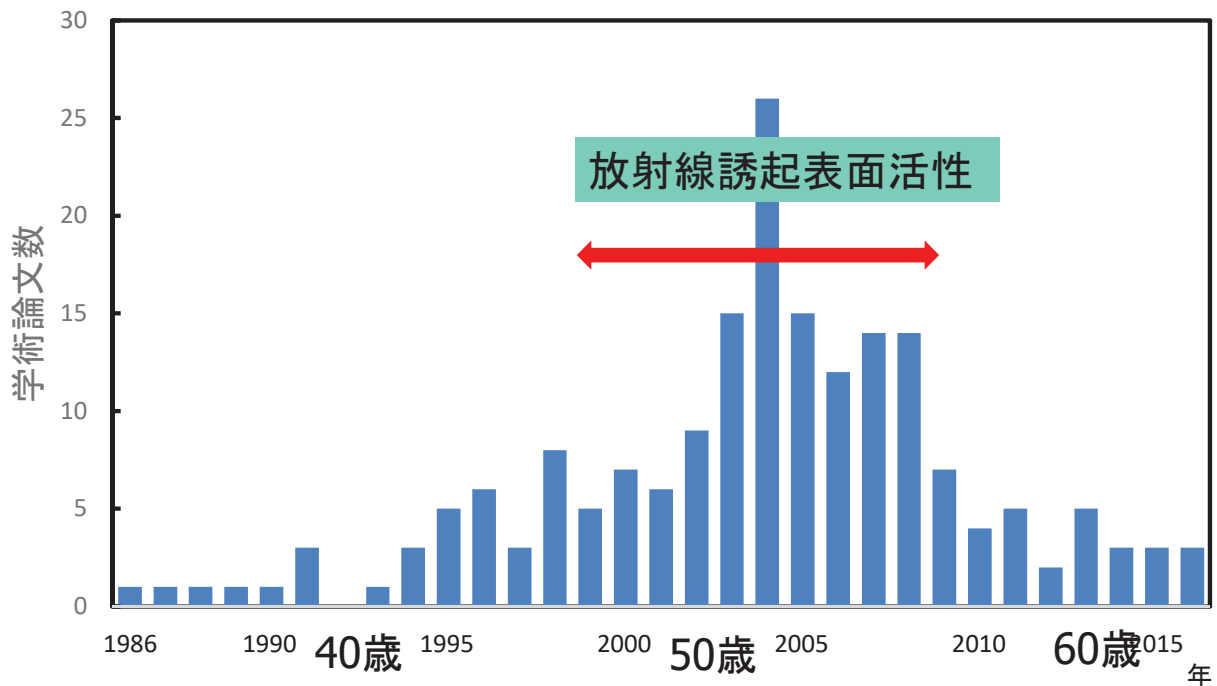
5. 放射線誘起表面活性(1998-2007)

気液二相流(濡れ性、ライデンフロスト、リウェッティング、沸騰)

放射線検出、防食

6. 急速充電対応型電池推進船の開発(2009-)

急速充電、無人自動化、無動揺化



放射線誘起表面活性効果 (RISA : Radiation Induced Surface Activation)

原子炉内強放射線による損傷・腐食・安全性低下→これまでの研究

放射線照射による表面電気化学的作用

→

原子炉内伝熱面・構造材への放射線照射を利用して、沸騰熱伝達率向上及び防食効果を生じさせ、原子炉の安全性を向上させる。

三島嘉一郎・日引俊先生(京大)

班目春樹・岡本孝司先生(東大)



原子炉では、定常運転における運転裕度の向上、事故時の安全性向上のために、定常過渡沸騰・クエンチング・リフラディングにおける単位時間単位面積あたりの高い熱伝達量、すなわち高熱流束が求められている。



例えば沸騰限界熱流束の向上には、蒸気泡が多く生じても、液が伝熱面と接触している状態、すなわち壁面の濡れ性が高い状態が必要である。



沸騰現象において、沸騰気泡下のマイクロ液膜の挙動は、表面張力や濡れ性に大きく影響されるが、一般的に濡れ性が良いほど液膜が形成されやすくなり、限界熱流束が向上する。

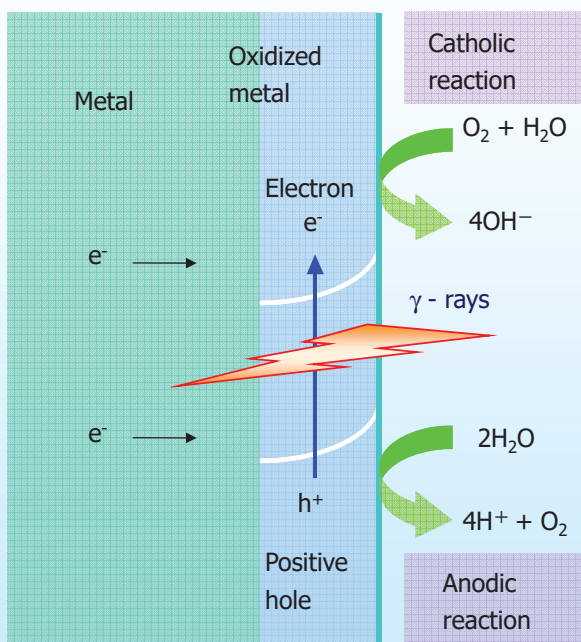
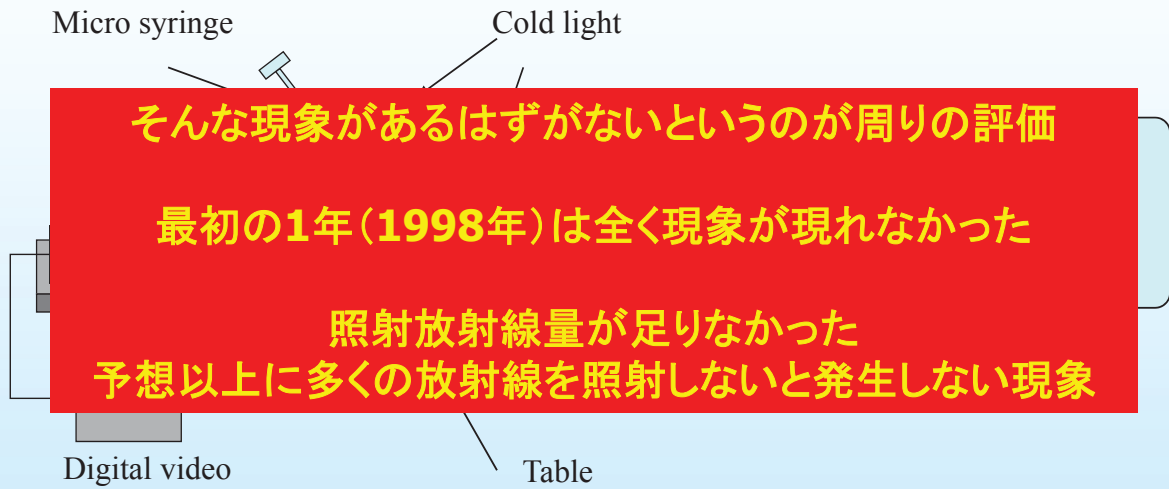
^{60}Co γ -ray 照射施設 1999–2000

東京大学浅野地区



京都大学原子力実験所

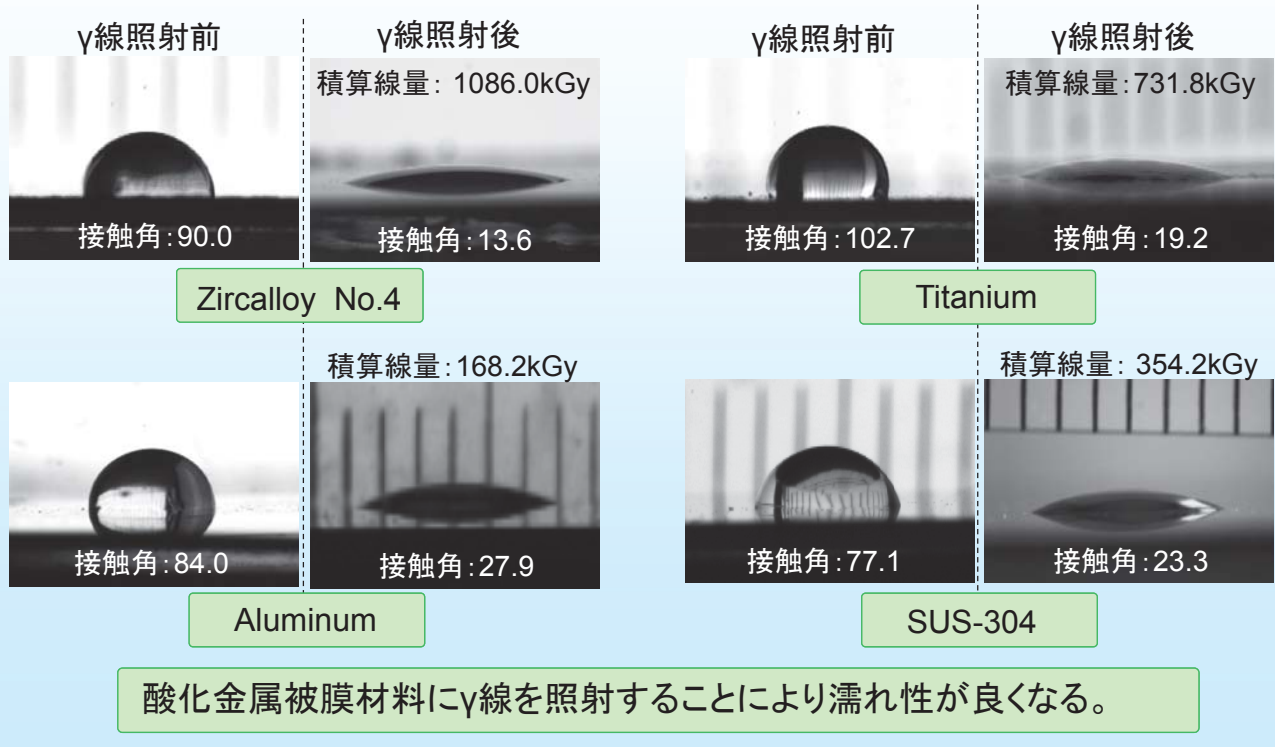




放射線照射によって形成された正孔は酸化被膜表面に拡散し、電子と再結合消滅

形成されたOH基によって表面のnmスケールの水クラスターが励起され親水化に寄与する。

γ線照射による接触角の変化



時間経過による親水性の戻り

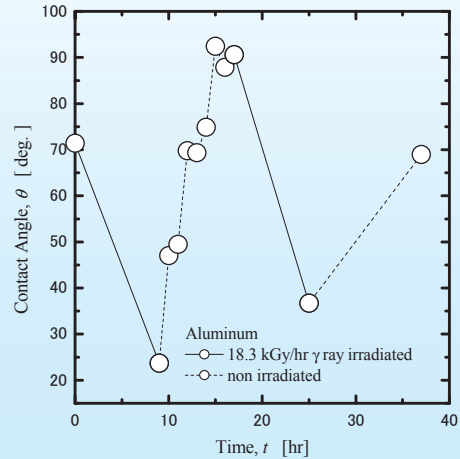
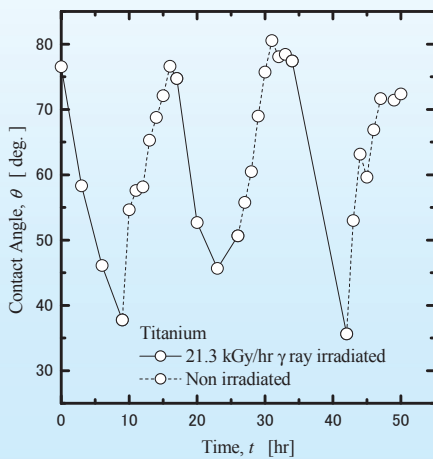
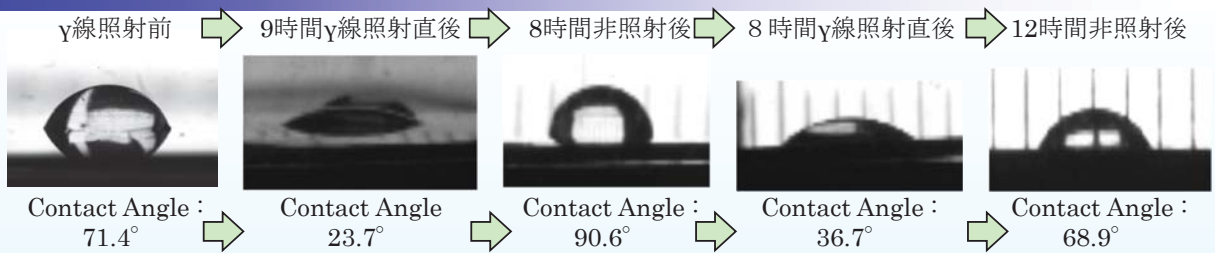
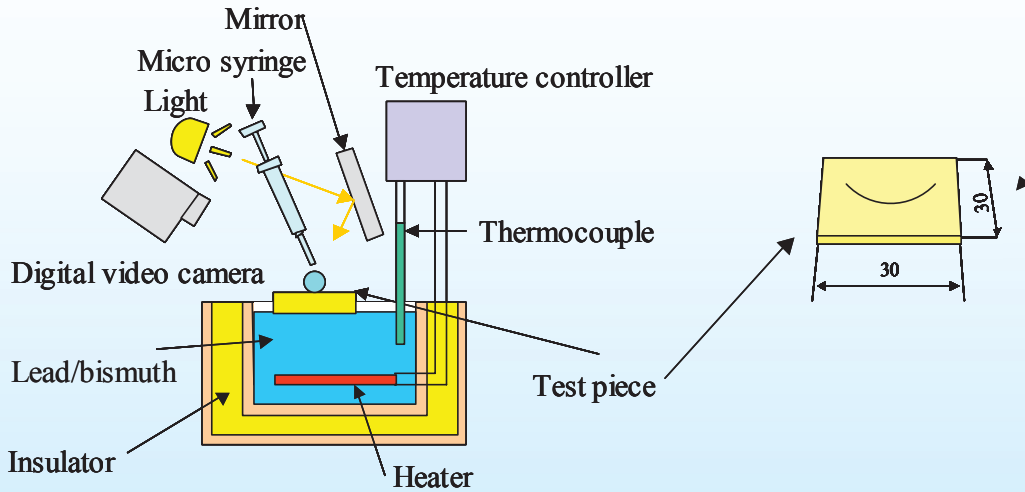


Fig. 8 時間経過による接触角変化

ライデンフロスト実験 高温壁面での液滴挙動



γ線照射室から取り出された直後の試験片を、設定温度に保持された溶融鉛ビスマスの上に置き、10 μlの純水を滴定する。

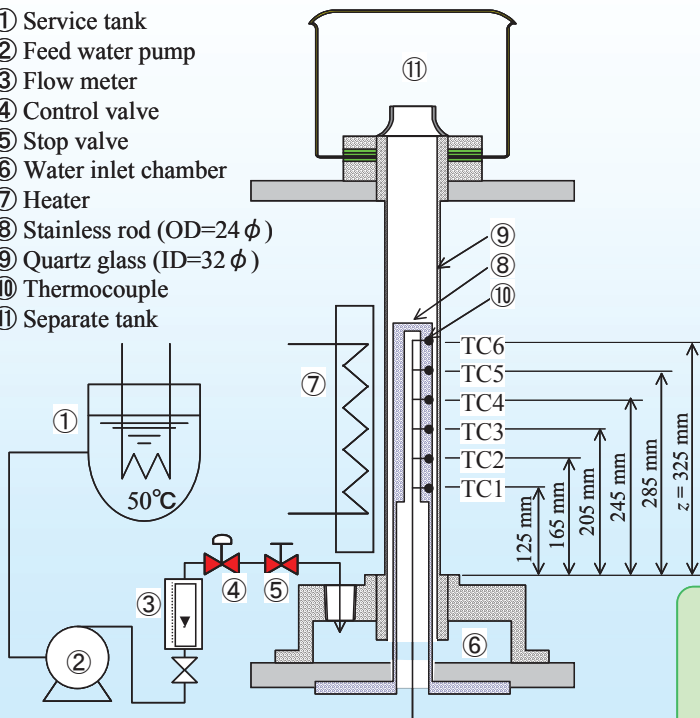
METI-RISA Project 2003-2007 (Japan) Innovative Nuclear Technologies Based on Radiation Induced Surface Activation (RISA)

The aim of this project is to get corrosion protection of structural materials in BWR by lowering their corrosion potential and to increase critical power of BWR fuel bundle and refueling velocity under LOCA events, resulting in excellent BWR with higher cost performance and safety.

This project investigates basic technologies of the RISA such as film forming, electrochemical dynamics, film durability in the reactor and improvement of heat transfer performance in reactor core in order to apply them to BWR.

b. Quenching Experiment

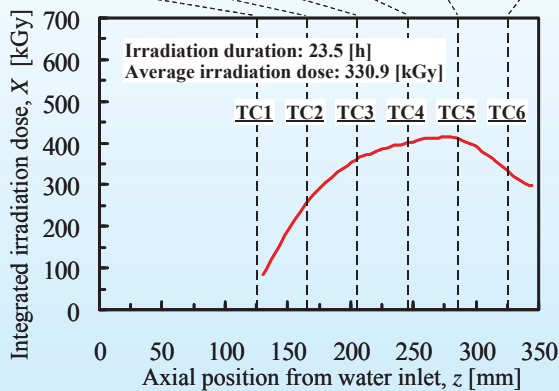
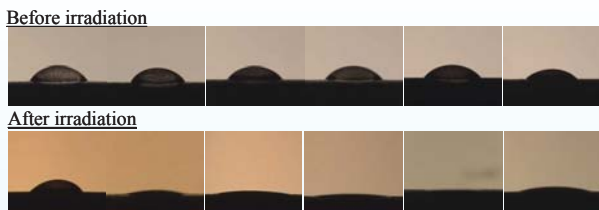
- ① Service tank
- ② Feed water pump
- ③ Flow meter
- ④ Control valve
- ⑤ Stop valve
- ⑥ Water inlet chamber
- ⑦ Heater
- ⑧ Stainless rod (OD=24 φ)
- ⑨ Quartz glass (ID=32 φ)
- ⑩ Thermocouple
- ⑪ Separate tank



35
Apparatus for reflooding experiment

Thermal Science & Engineering
Vol.12, No.2, (2004).
Takamasa, Mishima, et al

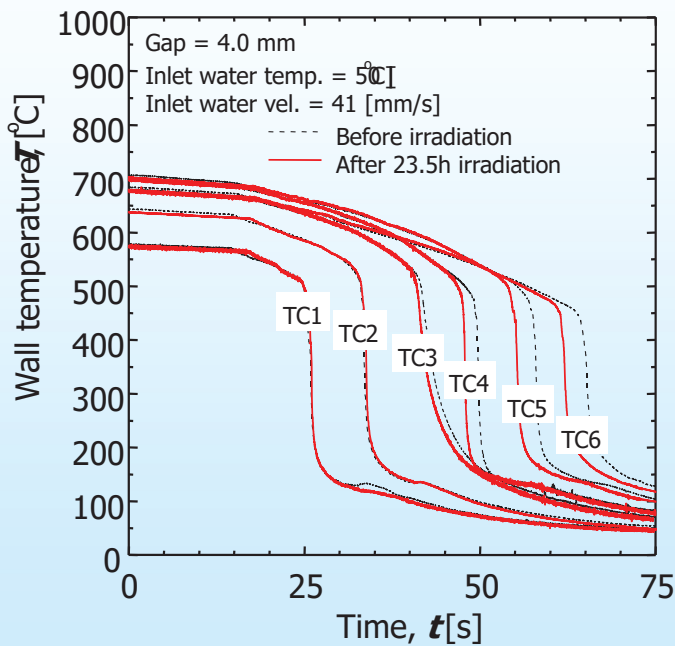
Rod Surface Wettability Change due to γ -ray Irradiation



- Profile of integrated-irradiation dose on the rod forms centered peaked along the rod axis.
- Superhydrophilic condition of oxidized metal surface can be achieved after integrated irradiation dose of 300-500 kGy, located at the rod center, $z = 248$ mm (TC4) and 285 mm (TC5).
- Surface wettability of rod end is consistent before and after irradiation.

Contact condition of a water droplet on stainless rod before and after γ -ray irradiation

Typical Result of the Surface Temperature Record



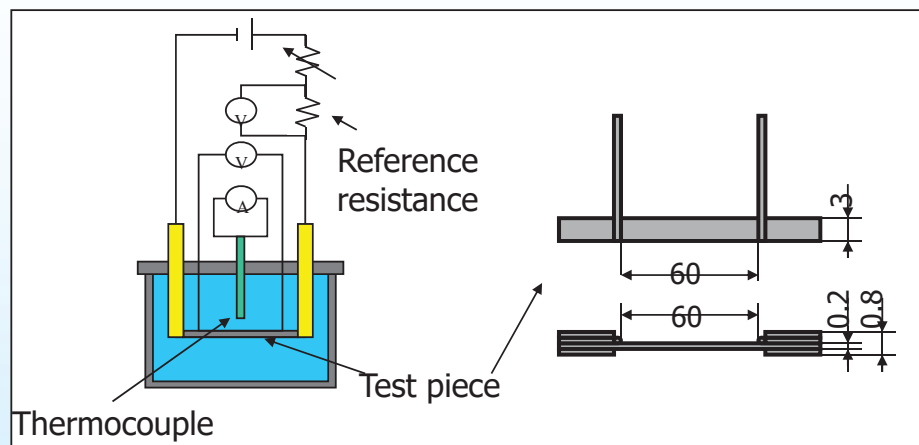
- No discrepancy exists in temperature records between before and after irradiation at TC1 and TC2 where no changed wettability was observed.

⇒ Reproducibility of the test

- Large increased quenching velocity, 7.1 mm/s, was observed at the middle elevation of rod (TC3 and TC4) after γ -ray irradiation.

- The quenching velocities were increased up to 20-30 % after 300kGy ^{60}Co γ -ray irradiation.

3) CHF in pool



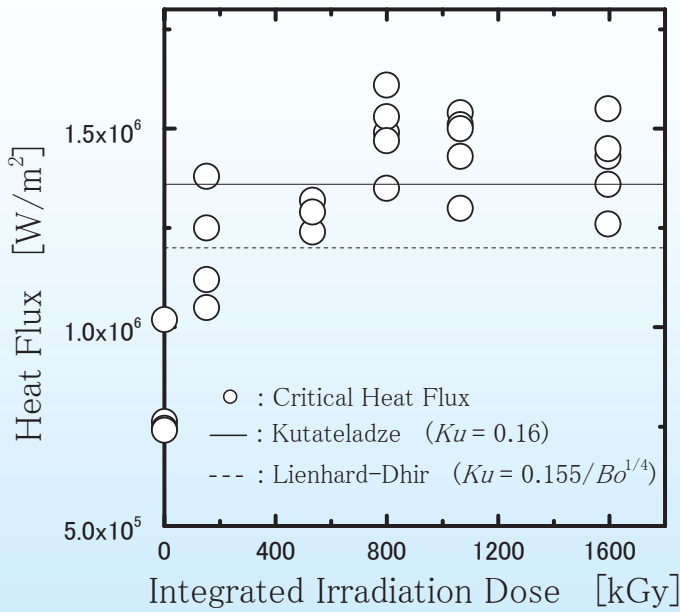
CHF experiment: the pool boiling condition

The pressure: atmospheric pressure
(resulting in the boiling point to be 100 degree C)

The heating: conducted using the Joule heating by DC supply

The test piece: hold horizontally on the electrode

To generate the oxidized surface, the test pieces were oxidized using plasma jetting for 40 seconds.



酸化被膜が施されたチタン試験片における照射室から取り出された直後の限界熱流束(サンプル数4-6)とγ線積算照射量の関係

ある程度のばらつきはであるものの、図に示されるように、積算照射量800kGy以上のγ線照射により、照射前のほぼ2倍の限界熱流束が得られた。

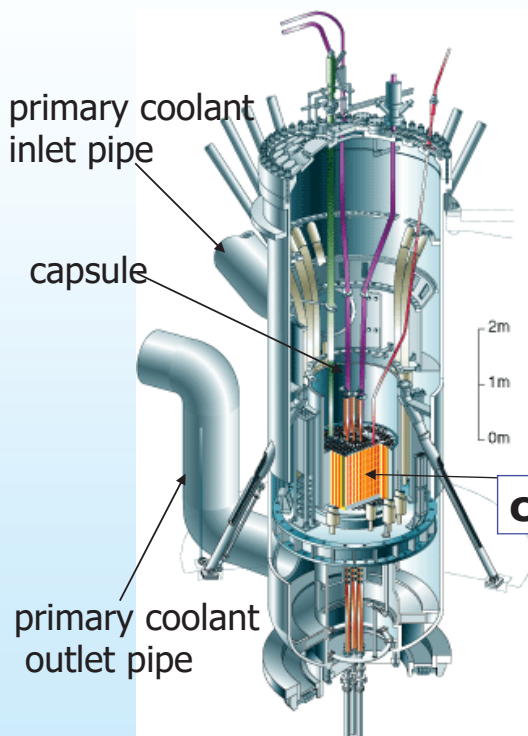
図中実線:

代表的な平板加熱面の限界熱流束式であるKutateladzeの式

図中破線:

垂直両面加熱面限界熱流束式であるLeinhard-Dhirの式から求めた値

4) Reactor experiments for CHF/RISA 2005

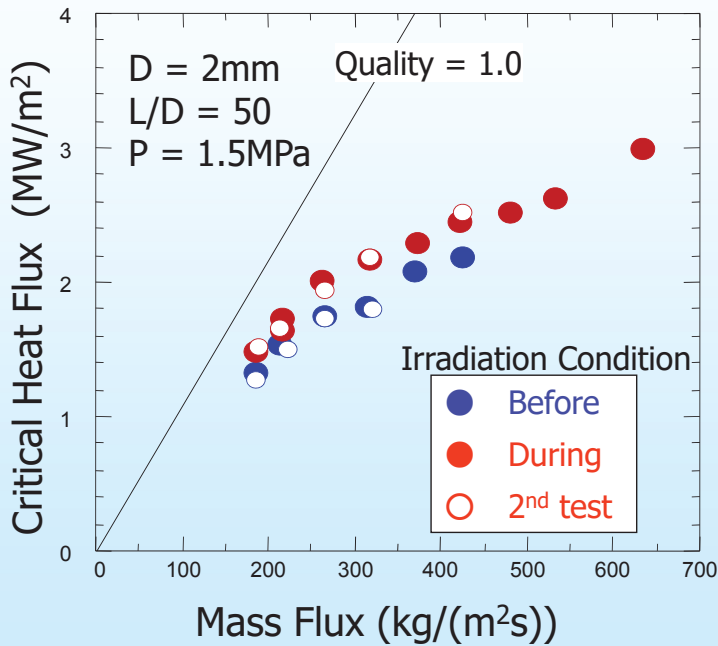


Japan Materials Testing Reactor (JMTR) JAEA

Reactor type : Light water moderation
 Thermal power : 50 MW
 Primary coolant
 Inlet temp. : 322 K
 Outlet temp. : 329 K
 Flow rate : 6000 m³/h
 Pressure : 1.5 MPa
 Neutron flux : max.; 4.0x10¹⁸/m²/s
 RISA exp.; 1.0x10¹⁷/m²/s

core

- An outermost irradiation hole will be used in the core to minimize gamma-ray heating ratio.
- Absorbed dose is 100 times larger than that in the previous experiments.



- ✓ CHF increased by 17% due to irradiation in JMTR
- ✓ CHF appeared at high quality conditions
- ✓ CHF mechanism would be dryout-type similar to that in BWR core

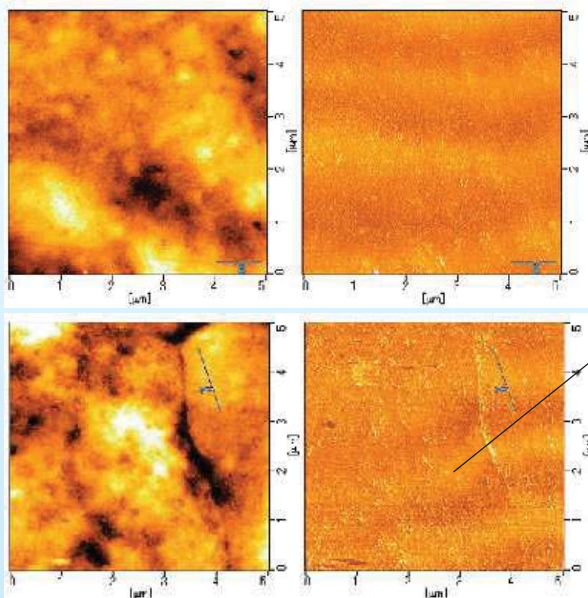
Analysis by AFM (Atomic Force Microscope) and FFM (Friction FM)

(D)放射線照射によって励起し親水化に寄与する物質とその形態
上:照射前 下:照射後(900kGy)

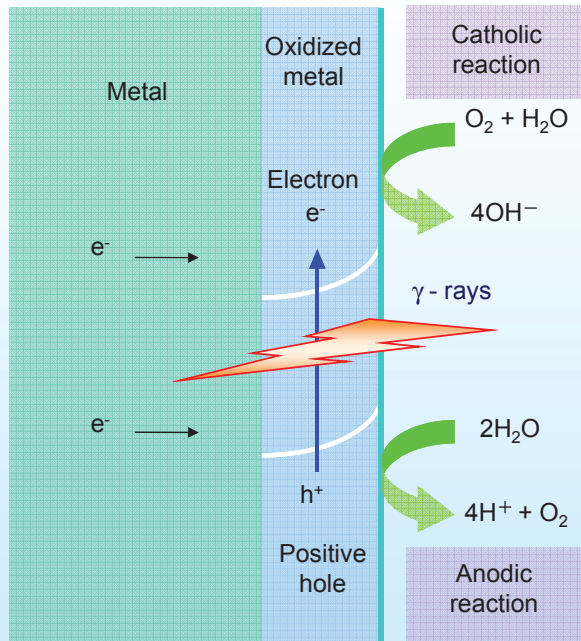
放射線照射によって形成された正孔は酸化被膜表面に拡散し溶液中の電子と再結合消滅し、適切な不純物準位や欠陥準位が存在すると励起効率は向上する。形成されたOH基によって表面の水ナノクラスタが励起され、これが親水化に寄与する。

AFM image

FFM image



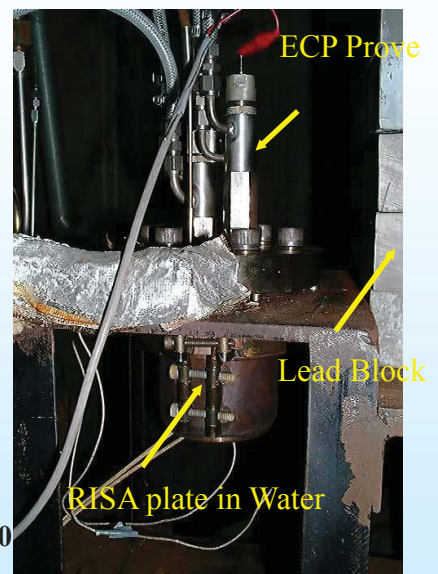
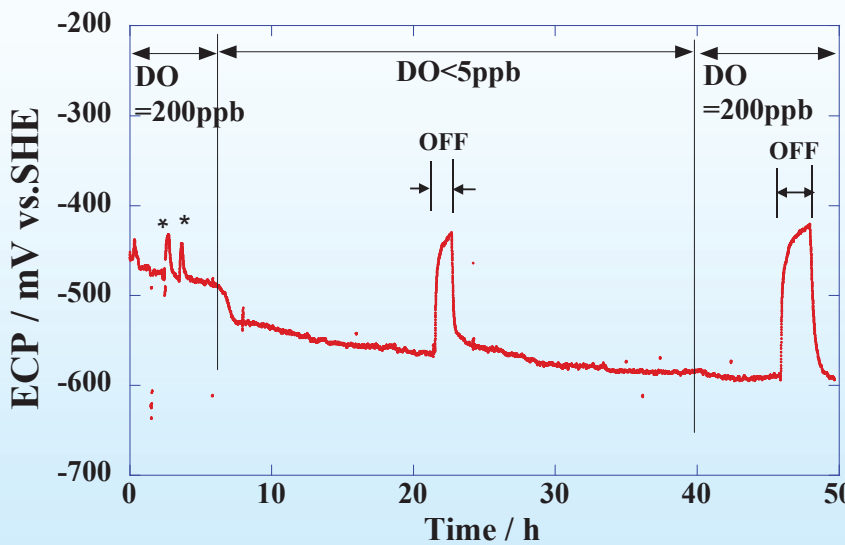
White spots are observed

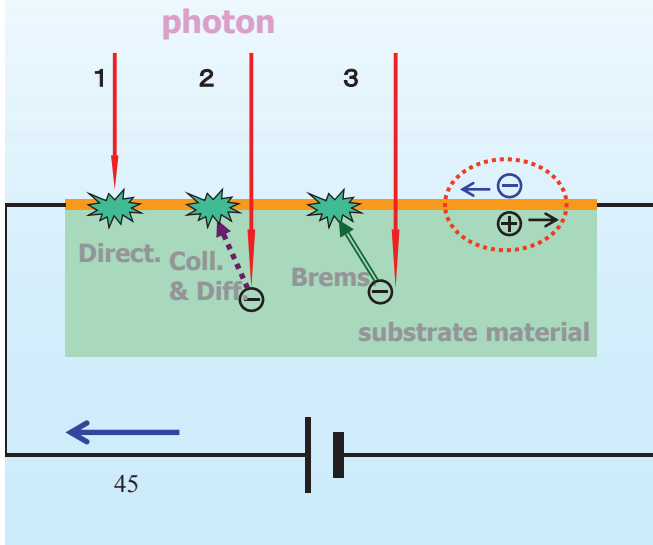


Cathodic and anodic reactions by surface irradiation of oxidized metal with radioactive rays.
Corrosion control

J. Marine Engineering
Vol.40, No.4, (2005).

Assumed mechanism behind RISA





**Electrical reaction
γ-ray detection**

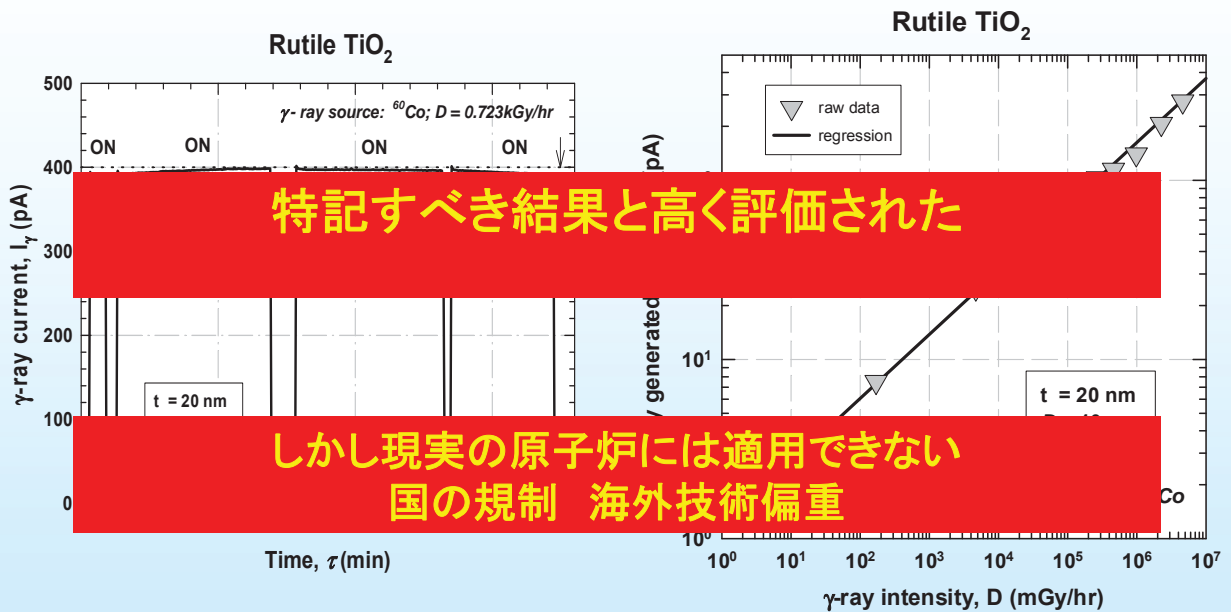


Fig. 8 Responsiveness of the sensor

Fig. 7 Measurement range

1. 蒸気爆発(1978-1982)

2. 気液二相流の現象・理論(1985-2006)

粗管壁、壁面濡れ性、U字管、細管、微小重力環境下

3. 気液二相流の計測(1992-2005)

ステレオ画像処理、レーザーフォーカス変位計(LFD)

4. 蒸気噴出・凝縮振動(1991-2000)

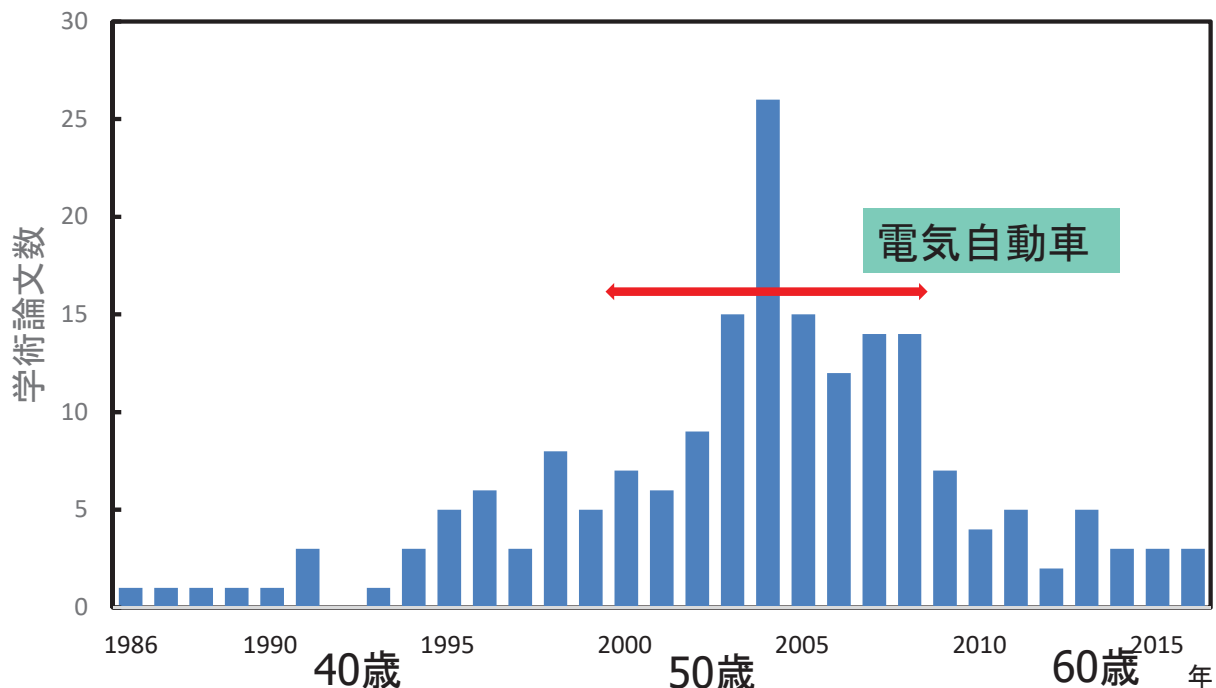
5. 放射線誘起表面活性(1998-2007)

気液二相流(濡れ性、ライデンフロスト、リウエットイング、沸騰)

放射線検出、防食

6. 急速充電対応型電池推進船の開発(2009-)

急速充電、無人自動化、無動揺化



EV技術が市販・量産できるまで発展

<陸上低環境モーダルシフト→EV>

1. 電池技術レベルの向上

・リチウムイオン電池の技術の進歩でハイパワーが実現

2. 充電システム(CHAdemo規格)

CHAdemo規格(2007東京電力)

東京海洋大学は1999年より東京電力のEV普及事業に協力

→大学で初めてのEV用急速充電器設置(平成21年3月)

→カーシェアリング実証試験(平成21年12月)



CHAdemo規格

最大出力:50kW

信号ケーブルによりリチウム電池の状態を把握して充電電圧・電流を自動車側から制御

IEEE standard

13,000 (2016)

海洋大学(急速充電機の設置・電気自動車試験)
2009-2010



三菱オートリースの営業マンからゴールデンキーを受け取る東京海洋大学の理事・副学長の竹村健司博士。2名のチアリーダー様、小誌発行者の賓客教授(動力エネルギー工学研究室)、職員、学生、皆さんお揃いで納車式。BC・サバも初顔合わせ。急速充電ごっつぁんでした!



ベストカー 平成21年9月26日号 pp. 44-45



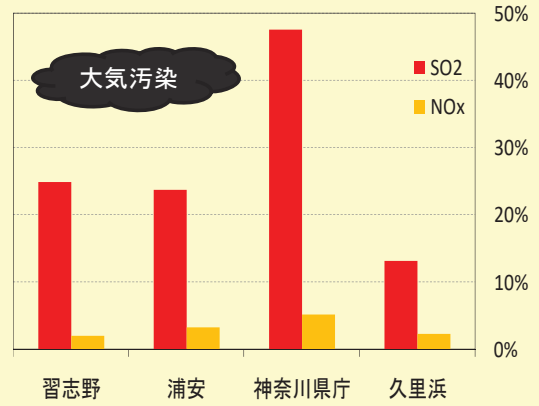
ベストカー平成22年2月10日号

1. 環境汚染

- ・ 港湾近辺の大気汚染寄与度が非常に高い
- ・ 陸上交通に比べ環境技術の遅れ
- ・ 水質・大気汚染の一因となる船用機関排気ガス(高塩分・高湿分吸気のため触媒が使えない)

改善 → ゼロエミッション船

- ・ 低炭素社会の創造
2. 新しい造船技術の必要性
- ・ 航行中の低振動・静音化



東京湾岸域において船舶排出ガスの占める割合



船舶排気ガス規制区域 (排ガスのない船舶の要請)

EMISSION CONTROL AREAS (ECA)

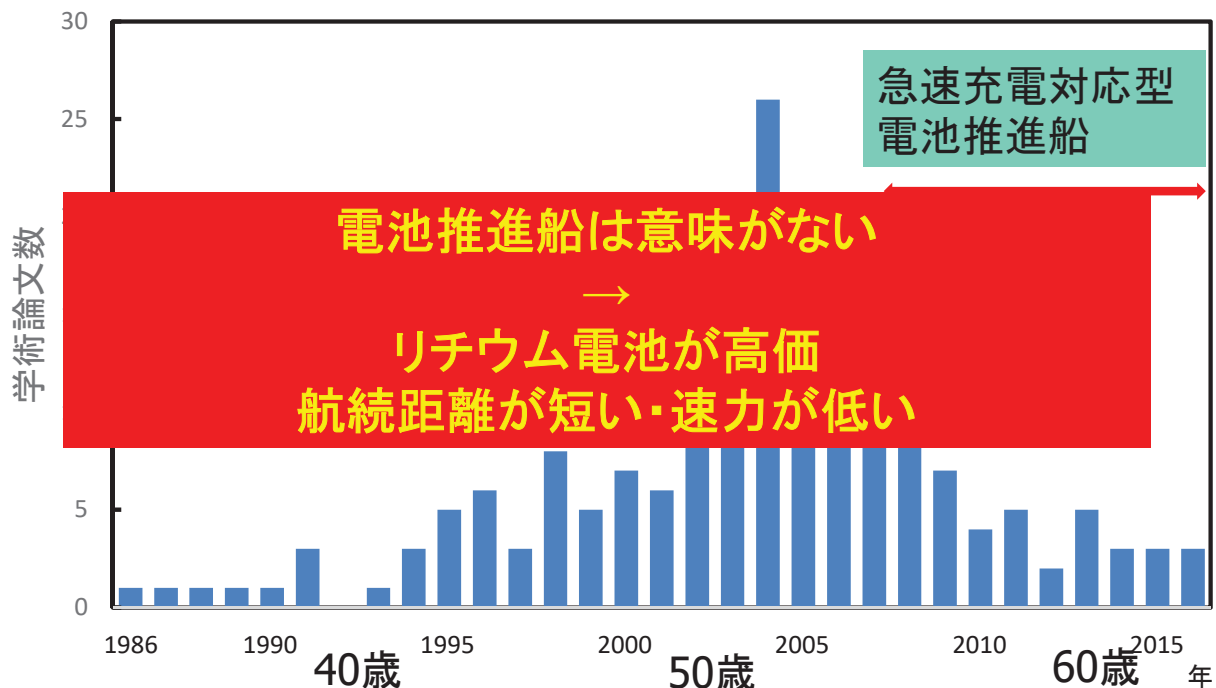


1. 低環境負荷・低炭素社会

- ・走行中のSO_x、NO_x、CO₂排出量はゼロ
- ・欧米ではすでにエンジン船使用禁止の湖沼区域
- ・50~70%のCO₂削減

2. 低振動・低騒音化

- ・観光船・交通艇・旅客船、生簀用漁船、研究調査船



「世界初！ 電池で動く急速充電対応船



20分で
充電ができる！

振動も音もない！

エンジンの油で
海を汚す
こともない！

排気ガスで
空気を汚す
こともない！

まさに
これからの社会の
環境を考えた
船なんです

誕生したのが
急速充電対応型電池推進船
「らいちょうI」なのです！



108 子供の科学 2012.8

子供の科学 2012.8 109



東京海洋大学電池推進船建造研究

- 平成22年5月:「らいちょうI」就航、「らいちょう」という名は、悪天候でも活動できる、電気をイメージしていることから付けられている
- 平成22年8月:実証試験開始(越中島一品川)
- 平成22年8月:漁船型多目的電池推進船設計開始
- 平成23年6月:漁船型ウォータージェット電池推進船「らいちょうS」就航
- 平成25年6月:ハイブリッド型電池推進船設計開始
- 平成25年6月:石垣島川平湾用電池推進グラスボート設計開始
- 平成26年3月:ハイブリッド型電池推進船「らいちょうN」就航
- 平成27年6月:電池推進グラスボート「川平マリン5号」就航
- 平成28年10月:燃料電池ハイブリッド化「らいちょうN」就航



RAICHO-I

RAICHO-S



RAICHO-N

急速充電対応型リチウム電池

- ◆ 今までの電動船(鉛蓄電池船、リチウムイオン電池船)は、満充電に**10時間**かかっていたが、本船は**30分以下(80%充電)**になり、実用性が画期的に向上
- ◆ 充電時間**30分**、全出力航行**45分間**という繰り返し運航が可能
- ◆ 高出力可能なリチウムイオン電池を使用しているため、**12ノット(時速22km)**という速力が出せ、波や風、潮流などの影響を受ける港湾域内で



第2船「らいちょうS」



賞雅寛而教授に聞く

電池推進船、10年後はスタンダードに

東京海洋大学大学院 賞雅寛而教授に聞く

水中に揚子を上げ、騒音や振動が少なく船体の信頼性が極めて高い「コソシステム」(船体装・車庫等)を、東京海洋大学を中心として開発した。このシステムは、従来の鉛蓄電池船に比べて、充電時間が10分程度短縮され、高出力なリチウムイオン電池を使用しているため、12ノット(時速22km)という速力が出せ、波や風、潮流などの影響を受ける港湾域内で運用が可能となっている。電圧変動の少ないリチウムイオン電池の採用が実現している。このシステムは、従来の鉛蓄電池船に比べて、充電時間が10分程度短縮され、高出力なリチウムイオン電池を使用しているため、12ノット(時速22km)という速力が出せ、波や風、潮流などの影響を受ける港湾域内で運用が可能となっている。

「らいちょうI」は、2011年に開発された。当時の技術では、充電時間が10時間程度かかっていた。しかし、このシステムを導入することで、充電時間が30分以下に短縮された。これは、従来の鉛蓄電池船に比べて、充電時間が10分程度短縮され、高出力なリチウムイオン電池を使用しているため、12ノット(時速22km)という速力が出せ、波や風、潮流などの影響を受ける港湾域内で運用が可能となっている。

「らいちょうS」は、「らいちょうI」の技術を活かした漁船である。水産庁からの依頼で開発された。このシステムは、従来の鉛蓄電池船に比べて、充電時間が10分程度短縮され、高出力なリチウムイオン電池を使用しているため、12ノット(時速22km)という速力が出せ、波や風、潮流などの影響を受ける港湾域内で運用が可能となっている。



らいちょう I の成果を踏まえて、世界初の「モーター駆動ウォータージェット推進船の開発」を引き続き行った。ウォータージェット推進は、安全性・環境保全特性がプロペラ推進より格段に高いが、内燃機関との組み合わせでは回転数トルク特性などの適合が良くなく、特に低速領域では十分な性能を発揮できていなかった。

ここで急速充電対応型リチウムイオン電池システムの採用をすることにより、内燃機関出力に匹敵し、かつウォータージェット推進と回転数トルク特性の適合の良いモーターを使用することができている。

「Ecosystem of Fishing port」 Field test in 2013



Solar Panel (10kWh)

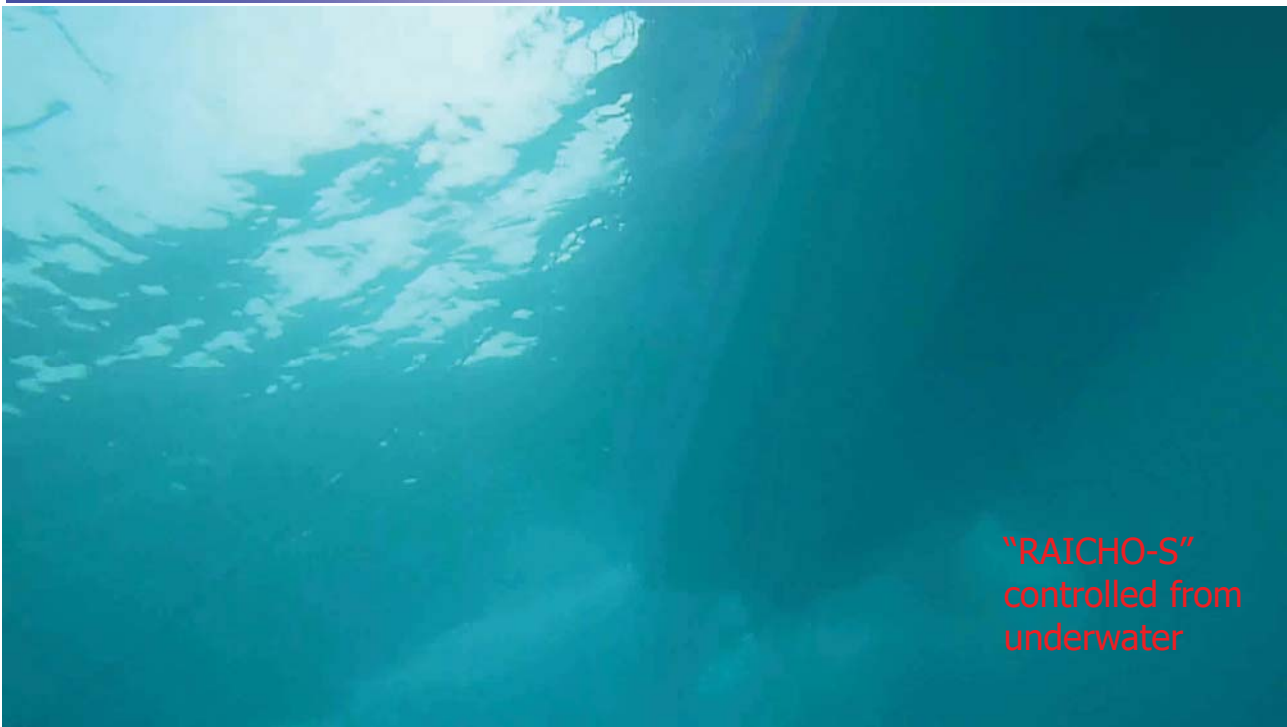


Electric Charger and Boat





Heat resistance Test
Most Southern City in Japan Ishigaki-jima



“RAICHO-S”
controlled from
underwater

63

第3船「らいちょう N」



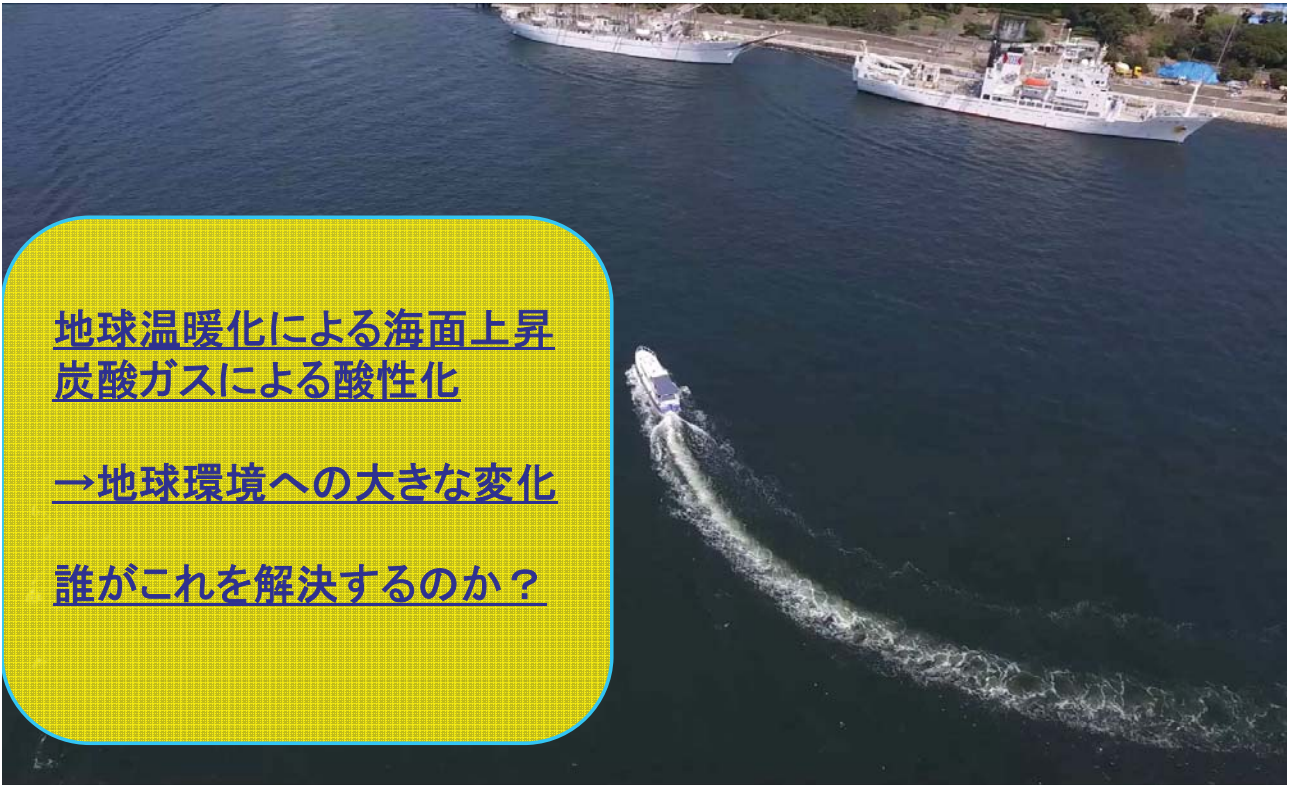
世界初の急速充電対応型ハイブリッド電池推進船
ツインドライブバッテリーシステム、シリーズハイブリッドシステム、B2Bシステム、遠隔操縦システム等の特徴とする 実用化レベルの電池推進船



Plugin Hybrid boat (World first) Fuel cell installed (Oct. 2016)
Test : Sumida River and Tokyo Bay for Rugby World Cup in 2019
and Olympic in 2020

川平マリン5号 平成26年5月





地球温暖化による海面上昇
炭酸ガスによる酸性化

→ 地球環境への大きな変化

誰がこれを解決するのか？



洋上風力発電

非常に厳しい自然環境

台風→高波

安定していない風向き
風速

他国の真似をそのまましても無駄

静止水上

制御なし



69

研究室及びラグビー部ほかの学生・卒業生諸君、研究・学会活動でお世話になった研究関連の皆様および本学で私の役職ほかの各業務を非常に強くサポートしていただいた教職員の皆様

大変ありがとうございました。



70