

Energy Physics Engineering Advanced Fusion Reactor Engineering 核融合炉電磁流体力学分野(橋爪・結城研究室)

Department of Quantum Science and Energy Engineering

H. Hashizume
Prof.



K. Yuki
Assistant Prof.



S. Ito
Research assoc.



S.M. Hosseini
Research assoc.



教授：橋爪秀利

講師：結城和久

助手：伊藤悟

助手：Hosseini Seyed Mohammad

秘書：地代優子

学生

D3：Kavoos Abbasi

D2：佐竹正哲

M2：小林大治、佐藤友彰、八尾隆之、山本裕子

M1：小原啓、加藤喬之、瀬戸奈央、滝口真吾、山岸瑛

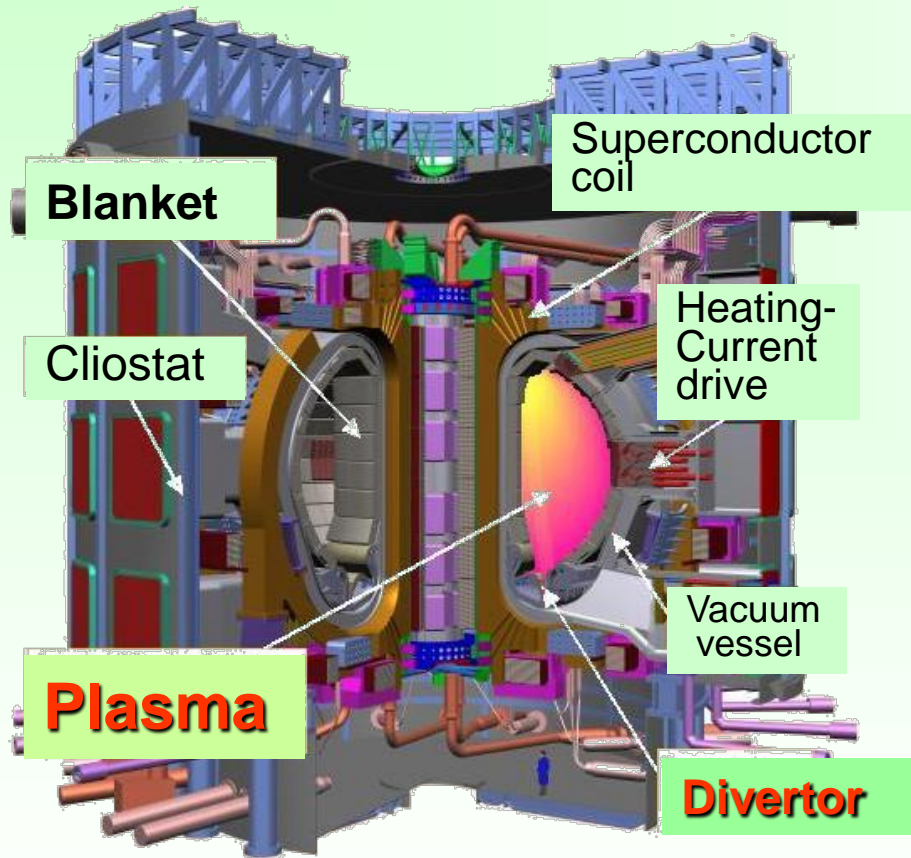
B4：阿部祐子、蛭原勇紀、松井章、茂庭圭介、吉田和弘

B3：青谷雄太、青柳光裕、坂下武志、佐藤司、信重慧悟

計21名

出身地：北海道、宮城、山形、茨城、栃木、東京、神奈川、千葉、新潟、福井、静岡、愛知、三重、滋賀、大阪、和歌山、兵庫、徳島、福岡、イラン

核融合炉実現に向けての挑戦



■ 複雑な構造

- ・ 超伝導マグネット
- ・ ダイバーター

■ 高熱・高電磁負荷

極限環境下での使用



先進的・創造的
工夫が不可欠

Reference: <http://www.naka.jaeri.go.jp/ITER/iter-view.html>

研究領域

核融合炉キーコンポーネントの開発

超伝導マグネット

直接接合技術の開発

電磁・熱構造連成解析

第一壁／ブランケット

分割型システムの開発

MHD／構造解析

層流伝熱促進

ダイバーター

相変化伝熱促進

炉工学一般(合理的保全システムの構築)

流動誘起き裂評価

異温度流体混合挙動解明

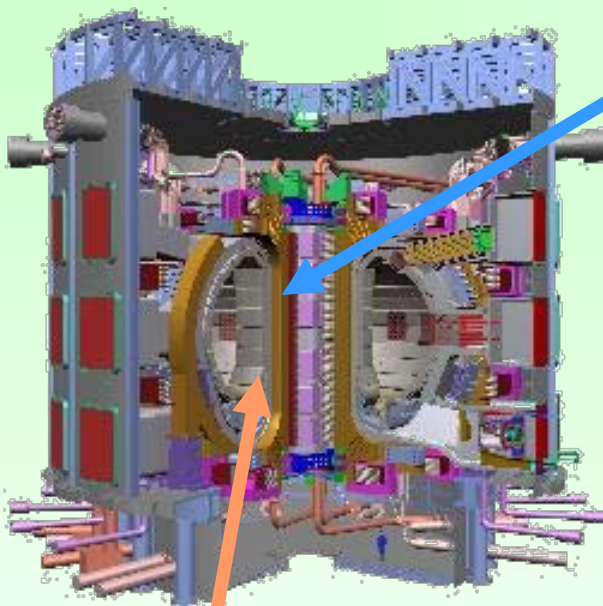
欠陥探傷技術の開発

電磁波を利用した欠陥探傷技術の開発

保全シナリオ評価方法開発

経済性評価＋確率論的安全性評価

分割型超伝導マグネットの開発



国際核融合実験炉 (ITER)

超伝導マグネット

核融合プラズマを閉じ込める磁場を生成
冷却に必要な電力のみで高磁場生成可能

超伝導体

臨界温度以下の温度で電気抵抗がゼロになる物質

金属超伝導体: 臨界温度が低い

→ 現在の設計での超伝導マグネットの材料

高温酸化物超伝導体: 臨界温度が高い

→ 開発途上

将来的にマグネット材料として使われる可能性あり

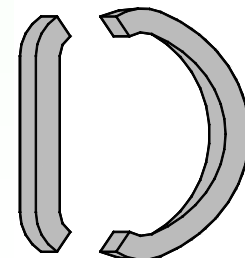
超伝導マグネットが関わる核融合炉のコスト問題

炉内構造物へのアクセス性の低下 → メンテナンスコストの増加

巨大な超伝導マグネットの製造 → 製造コストの増加

コスト問題を解決する新しい超伝導マグネット !!

→ 分割型マグネットの開発



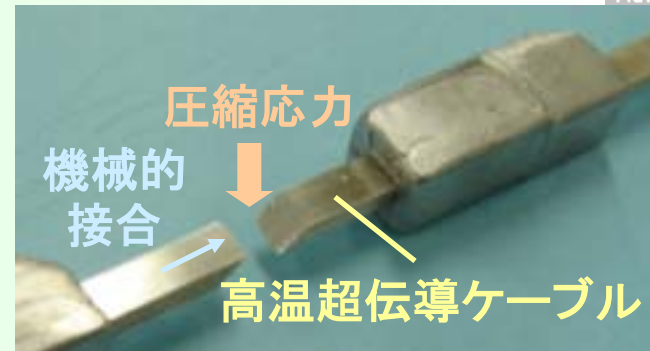
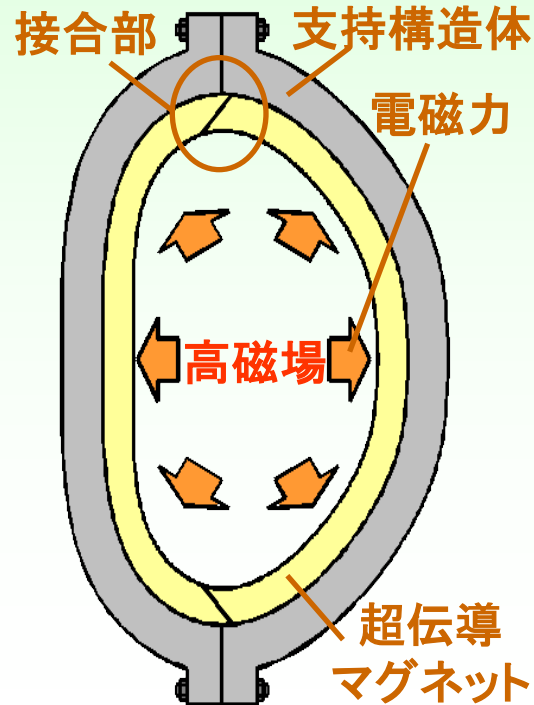
<分割型超伝導マグネット> 着脱可能な超伝導マグネット

製造の簡易化
炉内構造物へのアクセス性向上

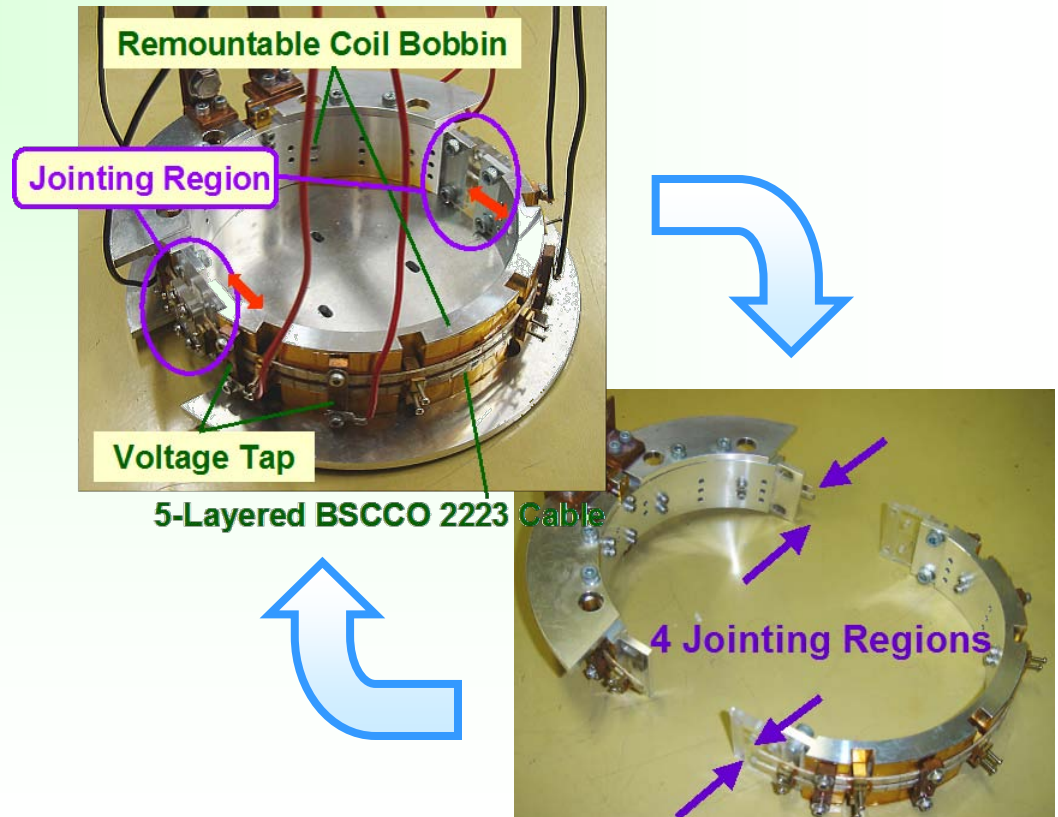
材料: 高温酸化物超伝導体

→ 比熱大
接合部での発熱に強い

接合力: 電磁力
→ 着脱が容易



高温超伝導ケーブルのバットジョイント(Butt Joint)



分割型高温超伝導マグネットプロトタイプ

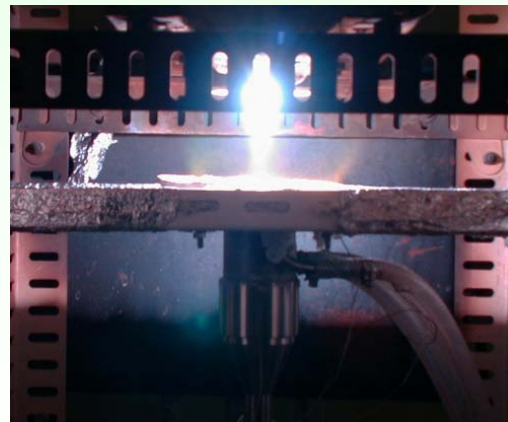
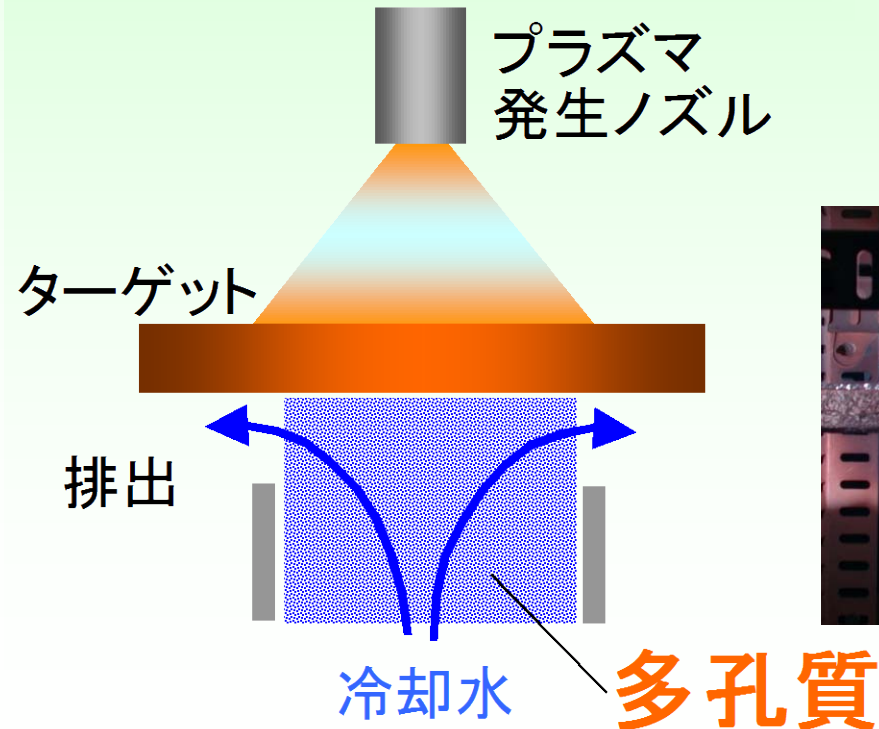
多孔質体を用いた高熱流束除去

共同研究：日産自動車、JFEスチール

核融合炉内で生成される超高温廃棄物により約**30MW/m²**以上の熱流束がダイバータに流入

金属多孔質体を用いた高効率除熱

- 高い有効熱伝導率
- 冷却材との接触面積の拡大
- 毛管作用により液体供給を促進



プラズマ照射時の様子



傾斜多孔質体
($\epsilon=70\%$, $d=30/60/90\ \mu\text{m}$)

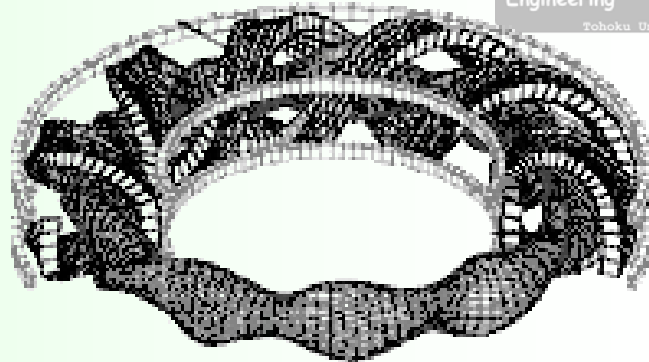
Flibe溶融塩ブランケット

〈利点〉

- 導電性がLiに比べて小さい
- 水や空気との反応性が小さい
- 蒸気圧が低い
- トリチウム増殖が出来る

〈欠点〉

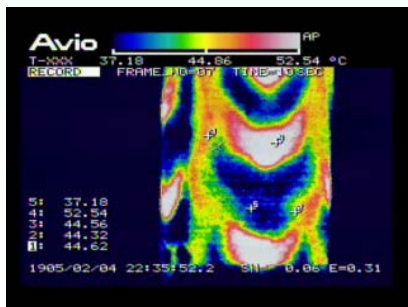
- × 融点が高い
- × 蒸気中にBeが含まれる
- × **高粘性かつ低熱伝導性である**



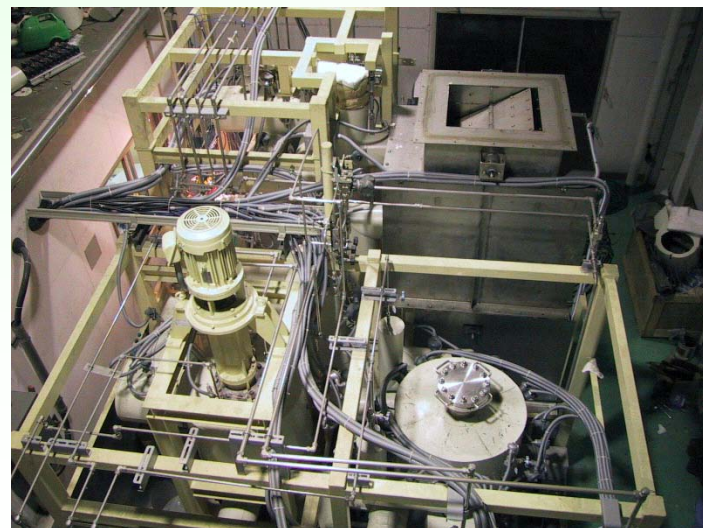
ヘリカル型核融合炉

自己冷却型液体ブランケット

高Pr数流体⇒低熱伝達特性



金属球充填
による
伝熱促進



高温溶融塩循環ループ(最高600度)

MHD乱流解析

導電性流体を磁場下で流すと磁場との相互作用により誘導電流 ($j = \sigma(u \times B)$)が発生



誘導電流と磁場の相互作用により流れを妨げる向きに電磁力 ($F = j \times B$)が発生

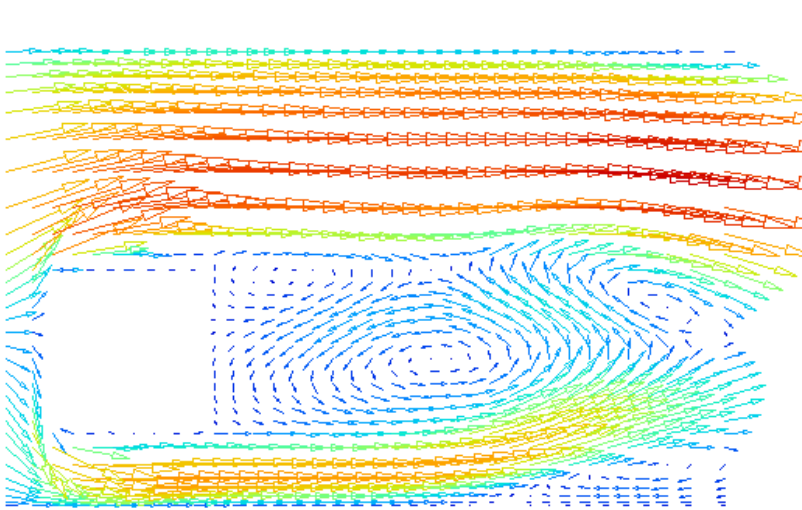
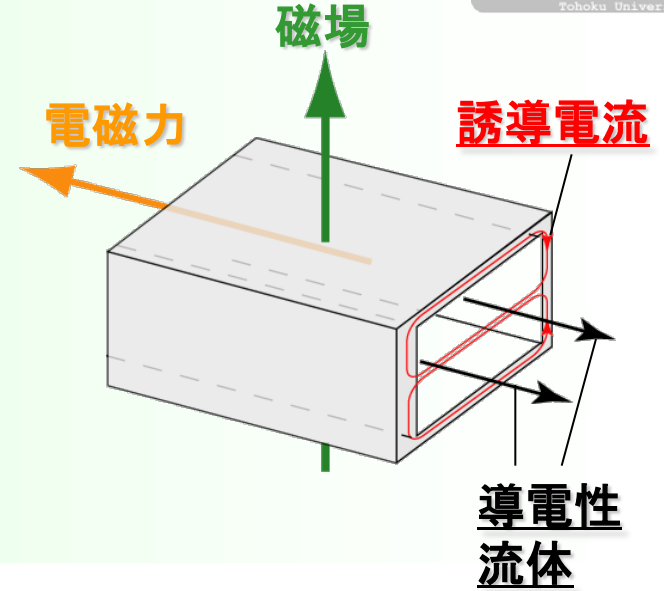


図 磁場無しの場合のカルマン渦

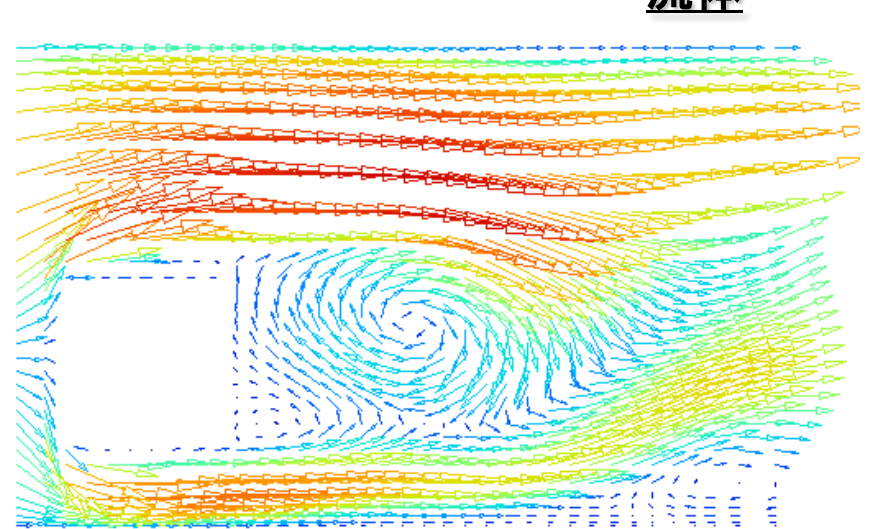
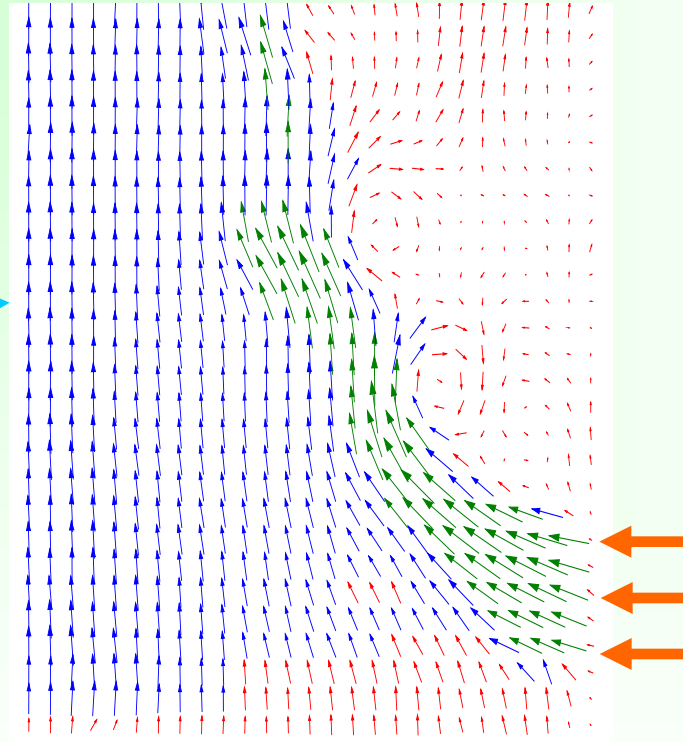
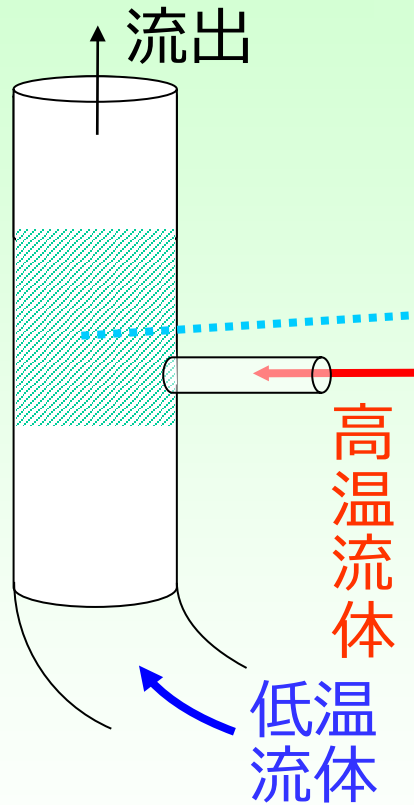


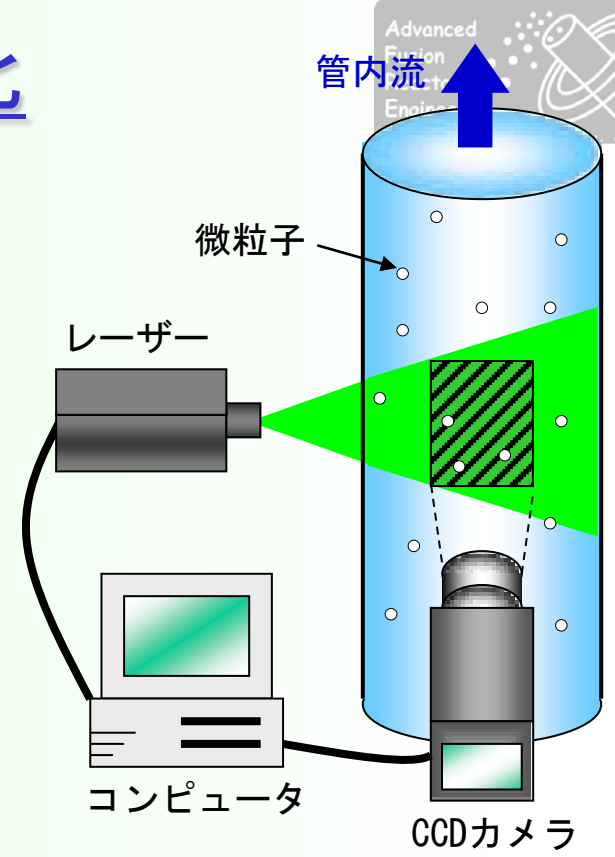
図 磁場有りの場合のカルマン渦

異温度流体の混合現象の可視化 (PIVレーザー技術の応用)

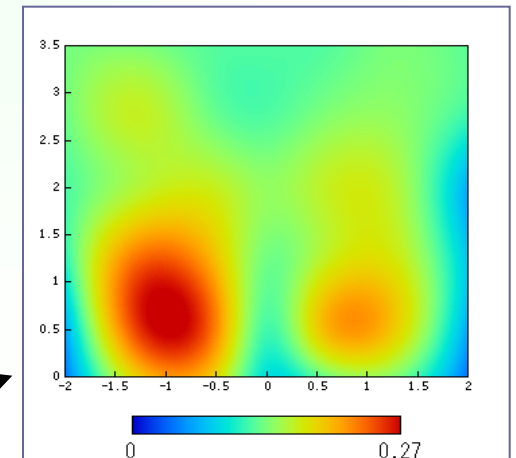
管内流



混合域での様々な渦

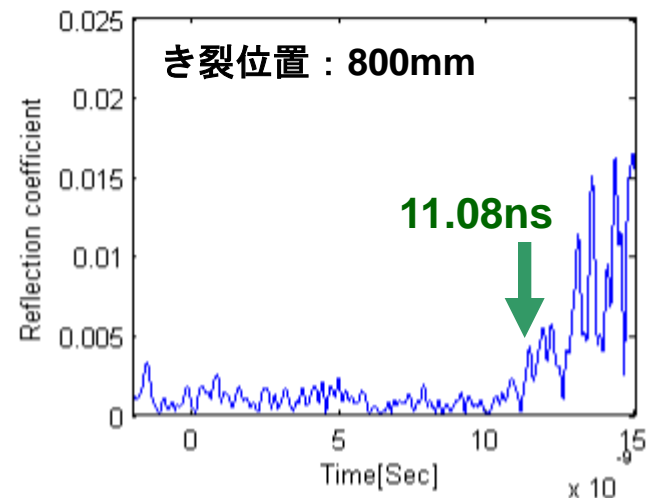
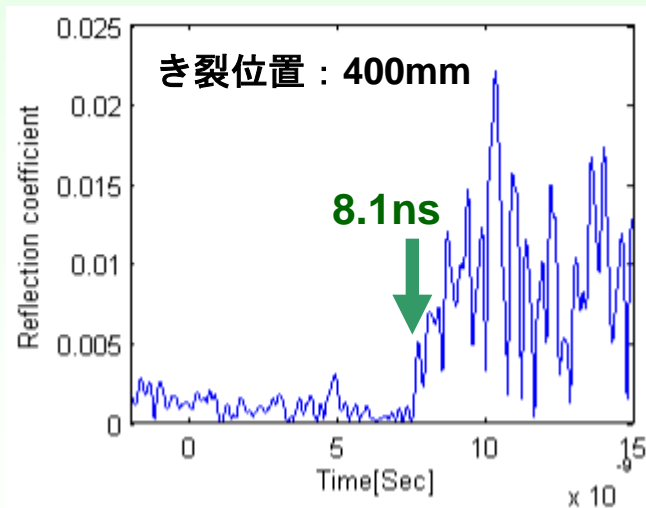
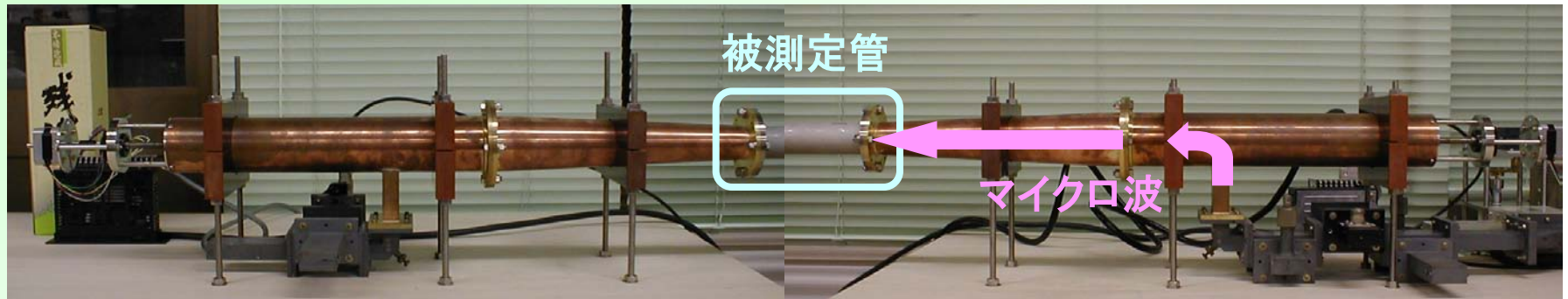


温度変動場



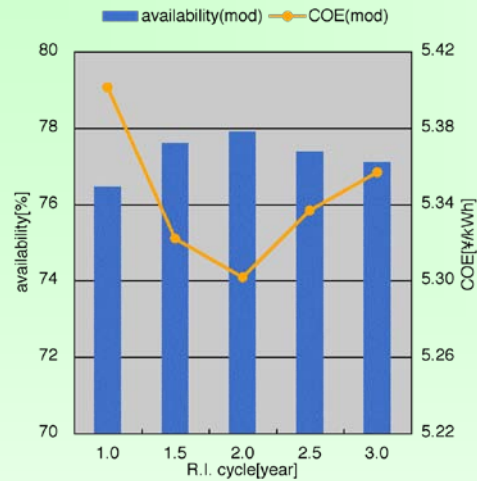
クラック・レーダーの開発

大型配管, 大型輸送機等に生じる亀裂損傷を
マイクロ波を用いて非破壊検査する

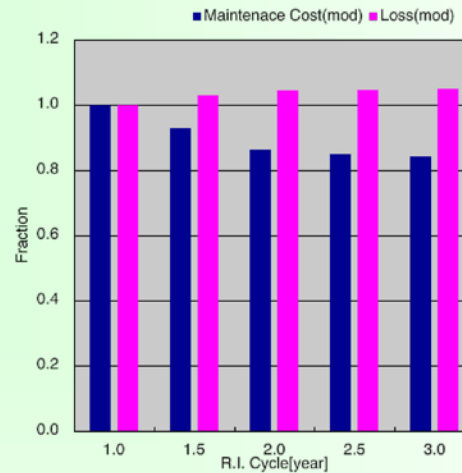


時間と反射振幅比の関係のき裂位置による違い

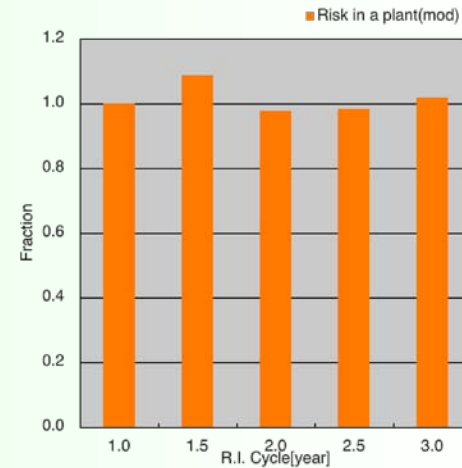
原子力発電所における保全活動の適正化



稼働率・発電コスト



保全コスト・損失



プラント内に生じるリスク

発電コスト：定検周期2年の時に最小となる分布

保全コスト：定検周期3年の場合、現状(1年)に比べ約15%の削減

損失：周期延長に伴って増加

プラント内のリスク：定検の延長によらずほぼ一定の分布

保全活動の変更による経済性・安全性の変化を定量的に把握可能⇒保全最適化のための条件の決定が可能

→ 保全活動プランの構築に有用

就職先

H12年度 M2: 日産、新日鉄、デンソー、日本原電、セイコーエプソン

H13年度 M2: 三菱重工、日本真空、日立、デンソー、ファナック、
富士総研

H14年度 M2: 東芝、高砂熱学、デンソー、ケイヒン
B 4: 新日鉄ソリューションズ

H15年度 M2: 富士重工、デンソー

H16年度 M2: ローム
B 4: 自衛隊

H17年度 D 3: 東北大学(助手)
M2: 東芝(2名)、東京電力、日本原電

H18年度 D 3: 東北大学(助手)
M2: 東芝、三菱重工、デンソー、ヤマハ発動機