

## News Letter No.7, January 6, 2009

ニュースレター第7号をお届けします。  
B班の活動状況および成果報告です。



### 目次

1. ご挨拶	領域代表 田辺 哲朗	p.1
2. はじめに(特定領域 B 班の研究目的)	調整班B代表 深田 智	p.2
3. 2008 年度特定領域 B 班活動報告会		p.3
4. 2007-2008 年度 B 班研究成果の紹介		p.4
5. ブランケット研究の今後の方向性		p.7

## 1. ご挨拶

領域代表 田辺 哲朗

皆様あけましておめでとうございます。本年もどうぞよろしくお願い申し上げます。

本特定領域も2回目の春を迎えました。領域採択時の感謝の気持ちと、さあやるぞとの心意気を再認識しつつ、これまでに得られて成果を踏まえて、さらなる前進をはかれる年になりたいと思います。

3月5, 6日には、今年度の成果報告会を公開シンポジウムの形で東京にて開催致します。また、本年中頃には(来年度になりますが)、中間評価を受けねばなりません。分担・協力研究者各位には更なるご努力を、また関係各位にはさらなるご支援と、ご協力を賜りますようお願いいたします。

このニュースレターでは、B班のこれまでの研究成果をまとめました。ご一読いただき、ご意見、ご批判、ご感想等いただけましたら幸いです。

1. 特定領域 B 班の研究目的

調整班 B 代表 深田智

核融合炉成立のための必要条件の一つは、核融合炉プラズマコア内で燃料トリチウムを消費しつつ同量以上のトリチウムをブランケットで安全かつ経済的に製造、回収するとともに決められた量以下に透過漏洩を抑えることだと考えられています。特定領域「核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開」の B 班「核融合炉ブランケットにおけるトリチウム挙動解明」は、現在想定されている ITER-TBM の先を見越し先進的ブランケット概念について、社会が要求する  $1/10^6$  程度のトリチウム漏洩率/発生率比を経済性を損なうことなく達成することを目標にしています。それには、これまで以上に広範囲な領域における基礎物理・化学現象の把握と解明および、材料工学とプロセス工学の手法による新規プロセス開発が必要なので、大学、研究所のトリチウムに関わる専門家からなる計画研究班を構成し、実験的解析的研究を推進し、目標を達成しようとしています。その実行のため、対象ブランケット材料の研究段階や研究手法にあわせて、それぞれ大学-原子力研究開発機構-核融合研間の共同研究に基づく以下の2つの計画研究班を構成し、研究を遂行しています。

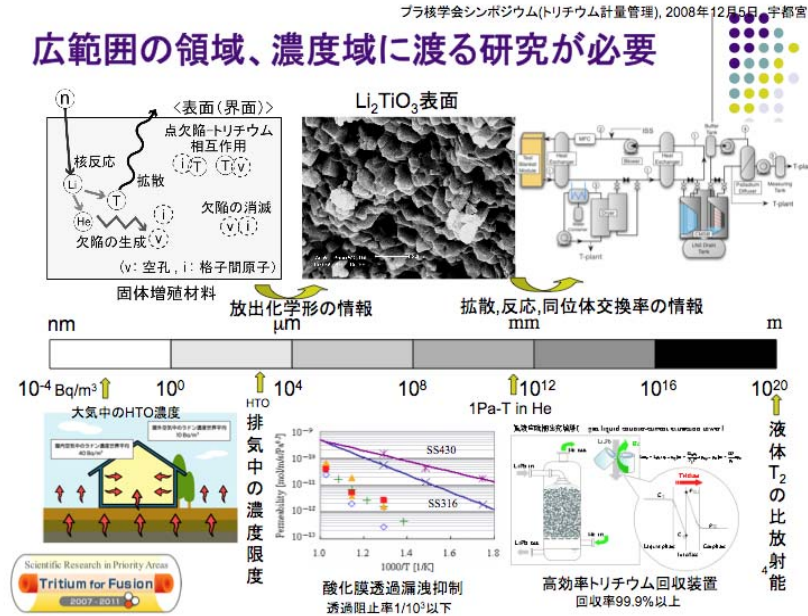


Fig. 1 広範囲ブランケット研究必要性の説明

- B01ブランケットトリチウム回収プロセス研究班 (深田)
    - 固・液体ブランケットからのトリチウム放出挙動解明
    - ブランケットループ先進トリチウム回収システム構築 (one-through当たりトリチウム除染係数が $10^5$ 乗以上目標)
    - 熱とトリチウムを同時に回収システムの実験的検証
  - B02ブランケット化学解明-材料相互作用研究班 (寺井)
    - 固体内生成トリチウム-照射欠陥相互作用解明
    - 酸化物ブランケット酸素不定比性制御解明
    - 液体ブランケット生成トリチウム化学制御解明
    - MHD制御と透過防止セラミック被覆材開発
- } マクロ相互作用
- } ミクロ相互作用
- 「核融合炉ブランケットトリチウム移行挙動の総括的解明」  
調整班 (深田)

## 2. 2008 年度特定領域 B 班活動報告会

下記の要領で 2008 年度 B 班活動の打合会をおこないました。



2008 年 B1+B2 班研究打合会参加メンバー



2008 年 B 班打合会風景

そのプログラム等を以下に示します。

### 科学研究費特定領域研究 B 班2008年度打合会プログラム

日時:平成20年12月1日(月)

場所:キャンパスイノベーションセンター東京多目的室1

研究会名:核融合炉増殖材中のトリチウム挙動研究に関する会合

プログラム:

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| (1) B2班平成20年度計画と前期成果の概要  | 東大 寺井隆幸                   |
| (2) トリチウム透過防止コーティング研究の進捗   | 東大 近田拓未                   |
| (3) Liにおけるトリチウム挙動研究の進捗   | 東大 八木重朗                   |
| (4) リチウム酸化物におけるトリチウム挙動研究の進捗  | 原機構 星野 毅                  |
| (5) Li-Pb及びFLiBeにおけるトリチウム挙動研究計画の概要                                 | 東大 鈴木晶大                   |
| (6) B1班平成20年度計画と前期成果の概要  | 九大 深田 智                   |
| (7) 固体増殖水冷却方式テストブランケットモジュールにおける<br>微小球充填体内のトリチウムスウィープガス挙動に関する工学的研究 | 原機構 関洋治、<br>廣瀬貴規、<br>榎枝幹男 |
| (8) ブランケットループからの新規トリチウム回収プロセスの研究                                   | 原機構 河村繕範                  |
| (9) 固体ブランケットにおけるトリチウム放出及び透過挙動に関する研究                                | 九大 片山一成、<br>西川正史          |
| (10) 液体ブランケットにおけるトリチウム挙動と回収に関する研究                                  | 九大 深田 智                   |
| (11) B1班、B2班の今後の展開についての議論  | 参加者全員                     |

次章では、上記報告会で発表されたもののうちから特に国際学会等で発表のあった研究成果について説明します。



### 3. 2007-2008 年度 B 班の研究活動の紹介

#### (1) 溶融塩国際会議 (2008 年 10 月神戸) での発表 “Flibe ブランケットの水素同位体溶解拡散挙動”

S. Fukada, Y. Edao, S. Yamaguchi, N. Hayashi, A. Sagara,

Hydrogen diffusion and hydrogen isotopic exchange on molten salts of mixed fluorides, Flibe (LiF+BeF<sub>2</sub>) or Flinak (LiF+KF+NaF),

Proceedings of 2008 Joint Symposium on Molten Salts, (2008) 875-880. Oct. 19-23, 2008, Kobe, Japan.

核融合炉液体ブランケット材として Flibe (LiF+BeF<sub>2</sub>) と Flinak (LiF+NaF+KF) 中の水素同位体の拡散係数と分子溶解度を始めて定量的に求めた。溶解拡散は不活性ガスの物理溶解とは異なるプロセスであり、不活性ガスの表面張力とは異なる化学作用が支配的である事が判明した。結果から Flibe ブランケット内でのトリチウムインベントリ、トリチウム回収率の重要なデータとして役立つ事ができる。(Fig.2参照)

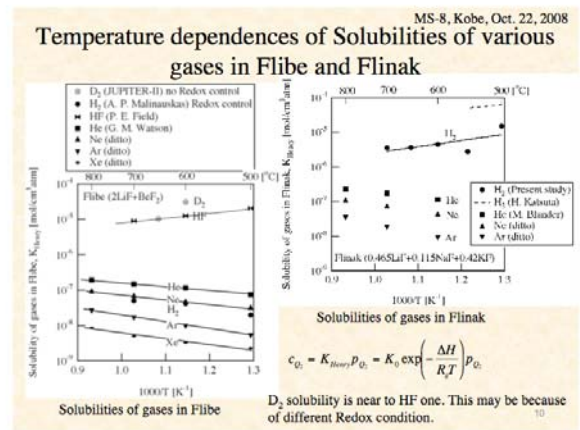


Fig. 2 Flibe, Flinak 中の水素同位体溶解度の整理

#### (2) 固体ブランケットからのトリチウム放出に関する論文発表

T. Kinjo, M. Nishikawa, M. Enoeda, S. Fukada

”Tritium diffusivity in crystal grain of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> and tritium release behavior under several purge gas condition”

Fusion Engineering and Design, 83 (2008) 580-587.

日米欧の各極が検討している固体ブランケット増殖材 Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>, Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> 中のトリチウム放出挙動を求め、吸着、溶解、拡散、同位体交換等の過程を考慮に入れた解析と比較した。さらに ITER-TBM での固体ブランケットからのトリチウム放出予測の解析をおこない、ブランケット構造とトリチウム放出率との定量的関係について明らかにした。(Fig.3参照)

固体ブランケットからのトリチウム放出の詳細なデータについては、2007 年度のトリチウム国際会議でも発表され、以下の論文が 2008 年度に発表されている。

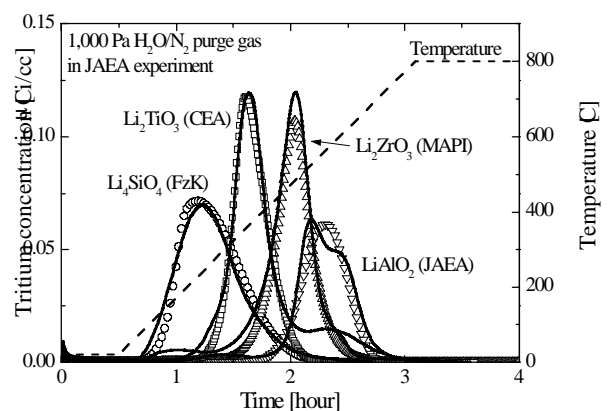


Fig. 3 各種固体ブランケット材からのトリチウム放出率の測定と予測

(a) T. Kinjyo, M. Nishikawa, N. Yamashita, T. Koyama, K. Suematsu, S. Fukada, M. Enoda  
 Characteristics of tritium release behavior from solid breeder materials  
 Proc. 8<sup>th</sup> International Conference on Tritium Science and Technology, (2007) Rochester, NY.  
 Fusion Science and Technology, 54 (2008) 557-560.

(b) K. Suematsu, M. Nishikawa, S. Fukada, T. Kinjyo, T. Koyama, N. Yamashita  
 The effect of water on tritium release behavior from solid breeder candidates  
 Proc. 8<sup>th</sup> International Conference on Tritium Science and Technology, (2007) Rochester, NY.  
 Fusion Science and Technology, 54 (2008) 561-564.

(3) レーザー核融合炉に関する IAEA-TM での Li-Pb 液膜ブランケット流に関する発表

S. Fukada, Y. Edao, Y. Maeda, T. Norimatsu,  
 Tritium recovery system for Li-Pb of Inertial Fusion Reactor,  
 The 4th IAEA-Technical Meeting on Physics and Technology of IFE Targets and Chambers,  
 2007, Fusion Engineering and Design, 83 (2008) 747-751.

Li-Pb 共融合金の水素同位体溶解度の  
 圧力依存性を調べ、その溶解が Sieverts 則  
 に従う事、H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> 溶解の同位体効果が共融  
 合金内の水素原子の調和振動エネルギー  
 (零点エネルギーに伴う特性温度 1500K) の  
 違いに伴うものである事を明らかにした。そ  
 の結果 T<sub>2</sub> の Li-Pb 中の溶解同位体効果を  
 予測計算できるようになった。

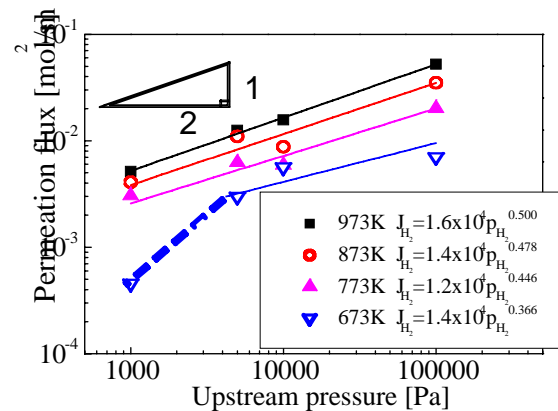


Fig. 4 Li-Pb 共融合金 H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub> 溶解度圧力依存性

(4) 2008 年米国核融合学会 (Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, 2008)、  
 及び第 25 回欧州核融合技術会議 (25<sup>th</sup> Symposium on Fusion Technology) での発表

(a) Masato Akiba, Mikio Enoda  
 Proc. TOFE 18, 2008 San Francisco  
 “Preparation of water cooled solid breeder TBM for ITER day-1 operation”

日本では、ITER-TBMとして水冷却固体ブランケット材を提案して、現在 JAEA を中心にし  
 て設計活動が盛んにおこなわれている。右図は、本特定領域において、JAEA の榎枝と関ら  
 が得た成果であり、セラミックブランケット充填材中の速度分布、空隙率の分布、トリチウム移  
 行挙動をこれまでに無い精度で求めるための試作と計算結果である。特に充填率を XT 線  
 CT の技法で求める方法は、過去の化学工学のマクロ測定からは得られないほどの分解率  
 で測定できる事が明らかにされた。

またJAEAの星野らは、現在最も有望と考えている $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ の酸素不定比性の欠点を是正するため、 $\text{TiO}_2$ との混合比を変えた材料を使い、中性子照射によりLi成分が減少しても酸素不定比性の影響が小さい材料の製作に成功している。固体トリチウム増殖材料中の照射欠陥や酸素欠陥とトリチウムの相互作用の解明もおこない、欠陥とトリチウム阻止能の関係も明らかにしつつあります。(Fig.6参照)

## ② 増殖材微小球充填層内部のトリチウムスイープガス挙動の解明

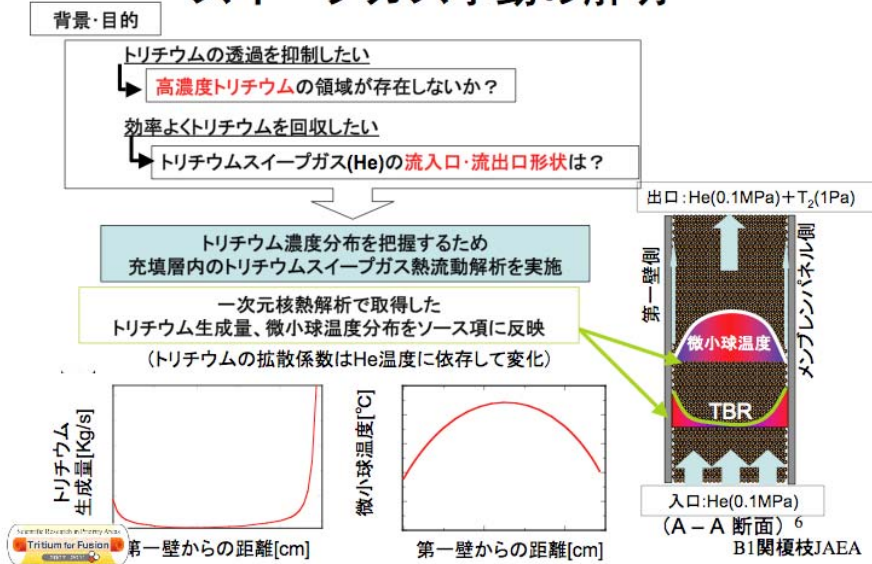


Fig. 5 固体ブランケット充填材中トリチウム挙動

プラ核学会シンポジウム(トリチウム計量管理), 2008年12月5日, 宇都宮

## 固体ブランケットトリチウム挙動把握と熱&T回収技術確立

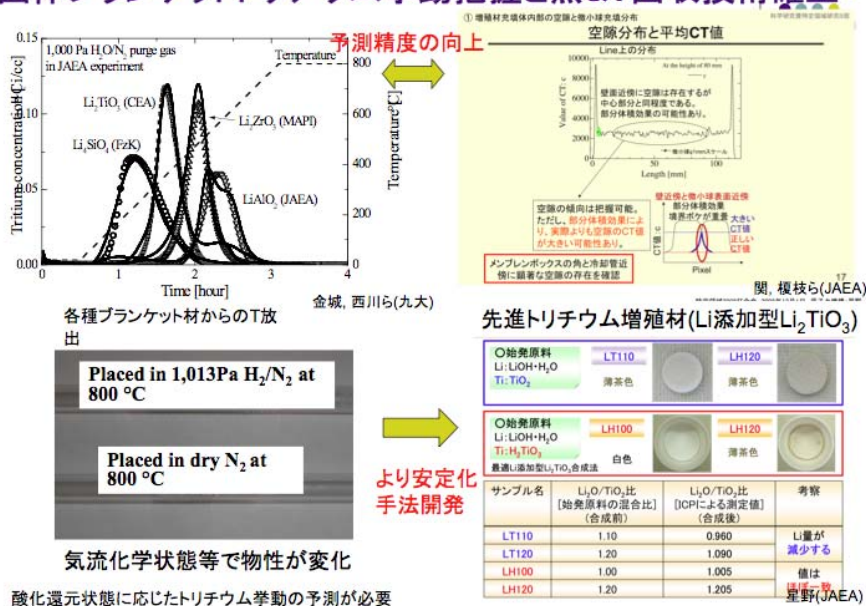


Fig. 6 固体ブランケット安定性研究結果



### (5) トリチウム透過阻止膜の実験

東大の寺井、鈴木らは、酸化エルビウム膜を使ってトリチウム透過防止コーティングの作製と機能についての研究をおこなっています。現在までに 1/1900 の透過阻止能を持つ膜を製作する事に成功した。この阻止能率は、現在世界最高値である。(Fig.7参照)

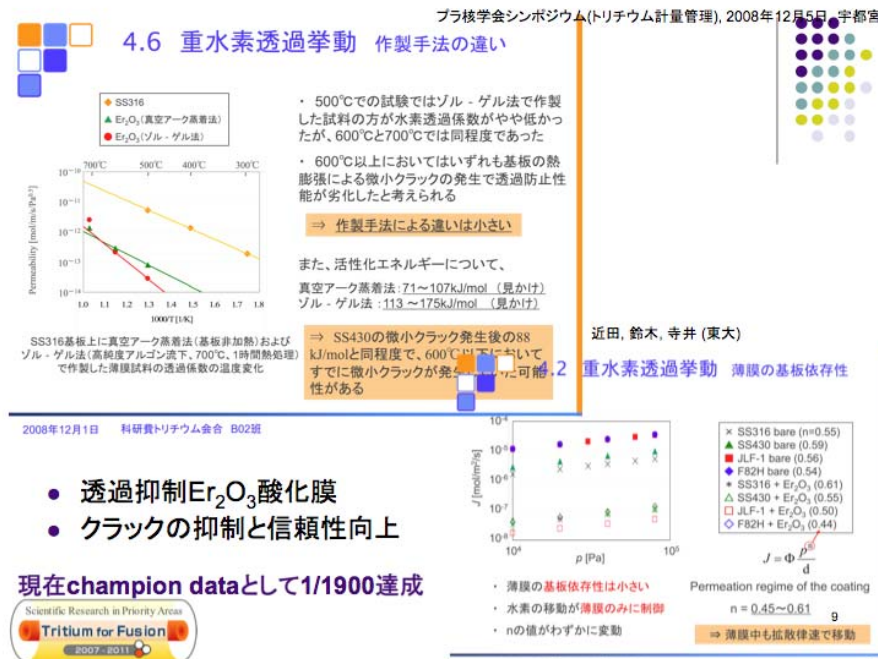


Fig. 7 トリチウム透過阻止 Er 膜の研究成果

### 4. ブランケット研究の今後の方向性

ブランケットの役割であるトリチウム製造、熱回収、 $\gamma$ 線遮蔽等役割を効果的に果たすには、非常に多くの視点で考える必要があります。装置設計のためには、熱、物質(T)、粒子線の収支式を連立して考慮する必要があります。ミクロな観点で考えると、物理的形状により固体ブランケット(Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>, Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, Li<sub>2</sub>ZrO<sub>3</sub>, LiAlO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>O等)と液体ブランケット(Li-Pb共融合合金、LiF-BeF<sub>2</sub>混合溶融塩、Li等)に分類した上で、多くの関係因子を考慮した設計が必要です。

例えば、セラミック固体ブランケット内での燃料トリチウム発生と回収をするため、必要な情報や考慮に入れるべき点は次の通りと考えられます。

- (i)中性子照射下で格子欠陥を含む多結晶構造である、
- (ii)1nm程度のサブマイクロ細孔から1mm程度までのマクロ細孔構造をしている、
- (iii)水素-酸素反応に起因して、ブランケットを構成する化合物の酸素組成が整数比からずれる、いわゆる酸素不定比性が生じる、
- (iv)水素化学種、水蒸気化学種、それ以外の化学種が同時に気流中に存在し、水素同位体原子が交換する、
- (v)水素、水蒸気の吸着、吸収、反応が進行する、
- (vi)Li核反応によるLi含有率が減少する、

(vii)微量トリチウムと不純物との相互作用がある。

液体ブランケットでは、(i),(ii),(iii)の固体ブランケット固有の問題はないが、新たに、  
(viii)ブランケットに敷設される各種加熱機器を含む三次元空間構造内の流動が存在する、

ことの考慮が必要です。さらにトリチウム回収にまで目を移すと固液ブランケット共通に、  
(ix)トリチウム回収装置内の熱、物質、運動量輸送による変化、を検討する必要があります。

その他特殊課題として、

(x)プラズマ燃焼運転パターンの非定常性、

(xi)熱その他の応力変形、があります。

現状では、これらすべてを考慮した研究は存在しないし、また実際上のトリチウム生産と回収を研究目標にする場合、未確定要素も多く、すべてを考慮し時間をかけて厳密に求める事にそれほど意味があるとも思えません。重要なのは実験されていない領域を補完し、未知領域の予測性能を向上させるための解析手段の構築と思います。そのためには、研究計画を綿密にたて、効果的な研究が必要です。

本研究計画では、まず照射下にあるブランケット材とトリチウムとの微細相互作用、特にトリチウム拡散挙動を直接求めるため、 $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ と $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ 等を例として研究しています。さらに、もう少し大きなスケールの視野で見ると、固体ブランケットではマイクロ細孔、マクロ細孔内のトリチウム輸送現象が支配します。液体ブランケットでは、トリチウム拡散と同位体交換現象を取り扱うため、材料-トリチウム相互作用を物理モデルに基づいた整理式に置き換え、輸送方程式にわき出し項、各種物性値変化、局所界面平衡、同位体交換速度の関係式に置き換えて解く事を考えています。

さらに大きなスケールとして、ブランケット外でのトリチウム回収装置設計をおこなっています。今後は、複合的入れ子的に影響し合ったブランケット内におけるトリチウム移行挙動とトリチウム露遺影阻止能を明確にするため、流動状態あるいは回収系を含めた複合的な系での実験をおこなう予定にしています。

平成20年12月27日 深田智

<事務局より>

A班に続いて、今回はB班の活動を特集させていただきました。

固体及び液体ブランケットにおけるトリチウム挙動の解明をマイクロとマクロの両面で連携推進することを目指したB班の熱心な取組み状況を読み取っていただければ幸いです。引き続きC班の活動状況も紹介させていただく予定です。

分り易い紙面づくりを心がけたく、忌憚のないご意見、ご指導をお願いいたします。

特定領域「核融合トリチウム」事務局  
核融合科学研究所 安全管理センター  
朝倉 大和  
電話 0572-58-2321  
ファックス 0572-58-2610  
E-mail [asakura.yamato@nifs.ac.jp](mailto:asakura.yamato@nifs.ac.jp)  
ホームページ <http://tritium.nifs.ac.jp>