

Study on Sawtooth and Transport
-- A Report of Japan-TEXTOR Collaboration --

S.-I. Itoh, K. Itoh, G. Soltwisch, K. H. Finken

(Received - Jan. 17, 1995)

NIFS-MEMO-15

Jan. 1995

This report was prepared as a preprint of work performed as a collaboration research of the National Institute for Fusion Science (NIFS) of Japan. This document is intended for information only and for future publication in a journal after some rearrangements of its contents.

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to the Research Information Center, National Institute for Fusion Science, Nagoya 464-01, Japan.

Study on Sawtooth and Transport

--- A Report of Japan-TEXTOR Collaboration ---

S.-I. Itoh*, K. Itoh**, H. Soltwisch†, K. H. Finken†

* Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasuga 816, Japan

** National Institute for Fusion Science, Nagoya 464-01, Japan

† Institute für Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, D-52425 Jülich
Germany

Abstract

A collaboration programme is initiated, in part of the Japan-TEXTOR collaboration, for the theoretical and experimental study on the sawtooth and anomalous transport. The summary of the workshop in 1994 is reported.

Keywords: TEXTOR tokamak, Anomalous Transport, Sawtooth, Current Profile, Pellet Injection

[I] Overview

This research project serves a new form of TEXTOR-Japan collaboration, where experimentalists and theorists collaborate to challenge the selected topics. Experimental research is mainly done by TEXTOR side and theoretical contribution, such as the presentations of a new model, prediction and a guide for analyzing the experimental data, is mainly done by Japanese side. Joint work is desired to provide a new scientific outcome.

The general way of this collaboration will be done in the following manner.

- 1) Holding a "working workshop" for scientific discussions to determine the issues to be solved. The homework is defined.
- 2) Separate works of each home task at their institutions.
- 3) Exchange of information and research output via mails and fax until the next workshop.
- 4) Successive workshop is held once a year or so in order to summarize the outcomes. And the similar process repeats.

The first workshop was held from Oct. 4 to Oct. 7, 1994 at IPP Forschungszentrum Julich. This report summarizes the discussions during the workshop and presents some guide line for the future collaborating research.

On the first day, a seminar open to the Institute staff was held as

Anomalous transport theory	S.-I. Itoh
Sawtooth modelling	K. Itoh
Pellet injection experiments on TEXTOR	K. H. Finken
The Faraday rotation diagnostic on TEXTOR	H. R. Koslowski
Summary of previous current ramp experiments	H. Soltwisch

This seminar provided us the mutual understanding for initiating a new joint research. Based on these presentations and discussions raised in the talks, the actual method of the joint work and the guideline of the research were discussed in the following days. We briefly report the contexts focusing to two topics.

[II] The change of current profile induced by pellet injection

Recently, the enhanced confinement mode called pellet-mode has been discovered in experiments. Due to the pellet injection, the improvement of the confinement takes place in the central core of the plasma. Sometimes the suppression of sawtooth is observed. The suppression occurs either in ohmic discharge or in NBI heated discharge. This phenomenon has been observed in various machines in the world, but the physical understanding is not clear yet.

In order to understand the physics associated with these observations, the problem definition to challenge the "pellet mode" were made. We divide the issues into two.

- ① The change of the plasma transport associated with the pellet injection.
- ② The relation between the sawtooth suppression and the transport change.

With respect to ①, Japanese contributors have already proposed a theoretical model. The theory predicts that the current profile change, which is associated with the pellet injection, induces the reduction of the transport coefficient in the core region, and that this reduction makes the plasma profile be peaked. The discussions were focused to how to check this theory and to by what experimental method this can be checked. Some experimental guidelines were obtained as follows.

- Deep penetration of the pellet is necessary.
- Measure the plasma density and temperature profiles as accurate as possible and the deduced $\chi(r)$ should be calculated.
- Power input profile should be accurately measured.
- Current profile $J(r)$ is to be measured by Faraday rotation technique (Polarimetry).
- The change of $\chi(r)$ profile should be compared to the change of $J(r)$. The relation should be checked. Comparison study of current profiles (or $\chi(r)$) of cases with and without pellet injection should be done. (Accuracy of the measurement is essential to say something about the causality between $\chi(r)$ change and $J(r)$ change.)

Based upon above guidelines Ohmic and NBI discharges, with and without pellet injection, are to be done in a near future and the experimental results will be compared accordingly.

The home task for the theory side is to search out the plasma parameter regions where the theoretical model can be checked in the course of experiments mentioned above. To this end,

- Choosing the operational condition and regimes for the actual experiments,
- Predictive simulation study by use of the transport code should be done.
- The simulational results are to be reported as soon as possible.

These are agreed among the members.

[III] Physics of sawtooth oscillations

On the sawtooth oscillations, the information exchange as well as the discussion on the previous findings were done and the guideline for the near term research were summarized.

Sawtooth oscillation is a generic phenomenon observed in almost all tokamaks, namely, the central electron temperature shows a temporal behavior like a sawtooth. The repetitive slow growth of temperature and the fast crash is observed.

This activity is considered to reduce the central electron temperature and to increase not only the bulk plasma loss but also alpha particles as fusion product. From the view point of physics, the plasma dynamics of the self-generated oscillations is an important and interesting issues to be challenged.

In the course of research of sawtooth mechanisms, the magnetic reconnection model proposed by B. B. Kadomtsev in 1975 has been playing the most important role. The model predicts that :

- (1) The "helical deformation" with $m = 1 / n = 1$ pitch (m and n are the poloidal and toroidal mode numbers, respectively) grows rapidly.
- (2) The reconnection of the magnetic field lines near the mode rational surface (which has the same helical pitch as the deformation) causes the

magnetic island structure.

(3) Finally, this island prevails the central (core) part of the plasma.

According to this reconnection model, the center of the magnetic island of $m = 1 / n = 1$ pitch becomes a magnetic axis after the sudden crash of electron temperature. From the topological consideration, the island pitch satisfies $q = 1$. After this model was proposed, numerous simulation studies by computers have been performed and the island growth has been observed. This theoretical model has been widely accepted. However, the direct check by experiments had been very difficult.

In the mid eighties the magnetic structure inside the plasma has been measured systematically on the TEXTOR Tokamak by use of the Faraday rotation technique. From this measurement it is found that the central q value is surely less than unity (around $0.7 \sim 0.8$) during the sawtooth oscillations. Furthermore the change in one sawtooth crash is found to be about 0.05 . This observation revealed that the sawtooth phenomena can not be fully explained by the Kadomtsev reconnection model. In his model, the central q value after the crash should be unity because of the topological change. Inspired by this measurement, other experiments have been done and this fact has been confirmed.

This TEXTOR experimental measurement together with other experimental results, we have obtained the picture of sawtooth phenomenon as follows,

- (1) Magnetic perturbation explosively (faster than a resistive time) grows toward the crash (magnetic trigger).
- (2) Plasma profile, e.g., electron temperature, suffers the sudden flattening.
- (3) Magnetic structure is a little affected by the crash.

Based upon these experimental facts, we have proposed a new model of sawtooth, in which the stochasticity due to the magnetic braiding process plays an important role. In this model, the mode with helical pitch of $m = 1 / n = 1$ is also considered. The difference from the previous works is that if the helical perturbation (deformation) exceeds the threshold value, the magnetic braiding process takes place for the magnetic field lines to reach the global stochasticity. Associated with this magnetic stochasticity, the stochastic region covers the large area in the plasma column and the electron temperature flattening occurs in the region. This model also predicts the fast time scale of the magnetic triggering process.

This joint work program also challenges to check this stochasticity model of sawtooth quantitatively, through the high resolution measurement of the magnetic field profile. It is planned to install a new polarimeter channel in the horizontal direction with high sensitivity and temporal resolution in order to gain additional insight into the growth of the $m = n = 1$ perturbation connected with the sawtooth crash.

In the course of discussions, the recent research activities on this topic were presented from both sides and we confirmed the precision of the measurement as well as the accuracy of the statistical processings of the experimental data. The sawtooth phenomena observed on TEXTOR were discussed which are

- 1) Sawtooth disappears in the high density region with the peaked profile.
- 2) In accordance with the change of NBI input power the change in the toroidal rotation has been observed in association with changes of the sawtooth period and of the frequency of the precursor oscillations.
- 3) Magnetic perturbation seen after the sawtooth crash seems to be larger in the outer region of the torus than in the inner. The causality is not yet known.
- 4) Fluctuations of the density and the temperature have the similar structure to the case in 3) (the stronger in the outside), the causality is not known.

From the theoretical side, another new model theory of the sawtooth was proposed and explained. This model predicts that

- 1) There exists a sawtooth which is not triggered by $m = 1 / n = 1$ helical perturbation.
- 2) The transport crash occurs if $q(0) < 1$ and if $\nabla p > \nabla p_c$, where ∇p_c is the critical pressure gradient for the onset.
- 3) The location where the transport crash occurs is inside the $q=1$ surface (at $r_{q=1}$) which is around $r / r_{q=1} \approx 0.6$.
- 4) The avalanche phenomenon stops at a certain radius.

The model is brand-new. It is agreed that it should be checked experimentally in the future.

< Near future plan for the collaborating work >

Experimental Task

- Preparation and tuning up of the horizontal chord
- By means of the vertical chord; More data of $q(r)$ profile should be taken for auxiliary heated plasmas. (to compare with Ohmic data) Observations should be done for "Pellet shots", "Gas injection discharge", "Improved mode" and so on.
- Special attentions are paid on
 - a) Asymmetry of B_p during NB input.
 - b) Comparison study of $q(r)$ profile of the discharges with and without sawtooth oscillations.
 - c) The structure of precursors (the relation between precursor and crash, etc)
 - d) The relation of sawtooth period to $P_{IN}(V_\phi)$, where the existence of $\mathbf{V} \cdot \mathbf{B} = 0$ surface should be taken into account.

Theoretical Task

- Comment on the draft written by experimental side.
- Making up a new model theory for a sawtooth.
- Analysis of new observations on sawtooth and its modelling.

With respect to the cooperation with fluctuation measurements the information exchange was newly done. It is agreed that from the view point of anomalous transport, in general, the fluctuation measurement will be done in connection with the $q(r)$ profile as well as $\chi(r)$ profile. If it is possible the causality should be checked. Observations are to be done, not restricting to the special topics, like a sawtooth physics and pellet injected case.

During the workshop a rough discussion record was made, (Attachment #1). Further collaborating work, i.e., the information exchange and discussions, is continued by mails and faxes. In the next fiscal year, another working workshop is planned to be held.

In addition to this English version of collaboration memo, the Japanese version is also attached (Attachment #2).

Acknowledgement

Authors would like to express sincere thanks to organizers of this collaboration. Special thanks are made to Profs. H. Wolf, N. Noda and T. Kuroda.

研究概要

当研究は、TEXTOR共同研究の中で、実験と理論解析とを各々分担しあって、この研究テーマに挑戦しようとする初めての新しい試みである。TEXTOR側が実験研究を担当し、日本側メンバーが主に理論モデルや理論から予言される事柄など、実験の解析への指針を提供し、相互に啓発しあって研究をまとめようというものである。

共同研究の具体的方法としては、

- 1) 研究作業会 (Working workshop) を開いて議論する。
- 2) 作業会で浮かび上がった問題を、当面の両者の宿題とし、実験及び理論的考察を各々行なう。
- 3) ある程度結果や疑問点が出てきたところで随時研究連絡を行なう。
- 4) ~1年のオーダーで又研究作業会を開き、研究成果のとりまとめやそのための討論を行ない、その後の指針を練る。

という形式を取ることに合意した。

今回の出張においては、第一回目の研究作業会を開き、今後の方針をも含め議論した。具体的には、第一日目に、日本側、及び、TEXTOR側からそれぞれの発表を行なった。日本側からは、理論モデル提示として「異常輸送理論」を伊藤早苗が、「鋸歯状振動 (Sawtooth) モデル」を伊藤公孝が行ない、TEXTOR側からは「TEXTORにおけるペレット入射の概要」をFinken氏が、「TEXTORにおけるファラデー回転計測診断法」をKoslowski氏が、「電流立ち上げ型実験のサマリー」をSoltwisch氏が行ない、実験と理論の相互の理解が計られた。共同研究をはじめるとに当たり、双方の従来までの研究内容を理解しあえるように設定されたものである。これらの発表をもとに、その後具体的な研究方針の討論がなされた。

〈ペレット入射実験に伴う電流分布の変化〉の研究内容

TEXTORの最近の実験では、ペレット入射時に、通常の放電から予測されるものと違っ

た「ペレット・モード」と呼ばれる中心部のプラズマの閉じ込め状態の良くなる「改善された閉じ込め状態」が発見されている。また、同時に鋸歯状振動が抑制される場合があり、それは Ohmic 加熱放電でも NBI 加熱放電でも起こる。似た現象は、世界各国の装置で観測されているが、その物理的な理解は未だなされていない。この現象をどうとらえて研究を進めていくかが問題となった。そこでまず上記「ペレット・モード」の現象を、①ペレット入射に伴うプラズマの輸送現象の変化、②輸送の変化と鋸歯状振動の抑制との関係、との2つのトピックスに分けて考えて行くアプローチを取ることとした。

①については、我々はかねてから理論モデルを出している。それは、ペレット入射に伴うプラズマ中心部の電流分布の変化が、輸送係数の変化を誘起し、それが分布を尖頭化させるというものである。これについて、理論をどのように検証できるか、またどのような実験方法で行なえるかなどの議論を行なった。議論の結果として、実験の方針としては、

- ・ペレットが深く入射できる状況を設定する。
- ・プラズマの密度や温度の分布を精密に測定し、それによって熱伝導係数、 χ を計算によって導出する。
- ・NBI 加熱時には、その入力分布の測定をしっかりとる。
- ・ファラデー回転による計測 (Polarimetry) でプラズマの電流分布を測定する。
(これがTEXTORの売り物である。)
- ・理論から予言される χ の変化と電流分布、 $J(r)$ 、の変化との関係を調べ、ペレットがある場合とない場合などの比較研究を行なう。
(その際、 $J(r)$ 変化と $\chi(r)$ 変化の因果律についての考察も行なえるだけの計測精度を期待する。)

上記の方針に沿って、ペレットのない Ohmic 放電、NBI 放電、及びペレットを入射したときの Ohmic 放電、NBI 放電などについてそれぞれ実験を進め、結果を比較していくこととした。順次実験は進められることとなった。

理論側の持ち帰りの宿題としては、上記の実験計画において、理論検証がより明確に出来るプラズマ・パラメーター領域を検討して

- ・具体的な実験運転パラメーターを選ぶこと
- ・輸送コードを使った予測シミュレーションを行なうこと
- ・結果を早急に連絡すること

が約束された。

《鋸歯状振動の物理》の研究

鋸歯状振動についても同程度の議論がなされ、今後の研究方針や今までの研究成果の報告の交換が行なわれた。

鋸歯状振動は、トカマク中心部の電子温度が鋸の歯の様な時間変化（ゆるやかな上昇と急激な減少）を繰り返し示す現象で、中心温度のダイナミクスが測られて以来広く普遍的に観測されている。

この振動が起きると、電子温度が低めに抑えられたり、核融合反応生成アルファ粒子が損失したり、プラズマの損失を増やすとされている。また、プラズマ内部での自律的な振動の発生という観点からは、プラズマのダイナミクスを理解する鍵を握っているとも考えられ、重要な研究対象である。

鋸歯状振動の機構を考える上で、中心的役割を果たして来たのが、B. B. Kadomtsevの提案による磁気面再結合モデル理論である。このモデルでは、

- (1) $m = 1 / n = 1$ (m と n はそれぞれ、ポロイダル方向とトロイダル方向のモード数) というピッチを持った「らせん変形」が急速に成長し、
- (2) その成長に伴い、ピッチと共鳴する磁気面に再結合が起こり、磁気アイランドが出来る、
- (3) そして遂には、そのアイランドが中央のプラズマ全体を覆いつくす、

と考える。これは鋸歯状振動現象の発見直後の1975年に提案された。この磁気面再結合モデルによれば、電子温度の鋸歯状の急減少が起きた後（崩壊直後）には、 $m = 1 / n = 1$ アイランドだったものが新しい磁気軸になるので、トポロジカルな性質から、その磁力線のピッチが $q = 1$ を満たすことになる。MHDの数値シミュレーションでこの磁気アイランド成長が確認されたことから、広く信じられた。しかし、一方で、直接的な実験的検証は困難であった。

TEXTOR装置では、H. Soltwisch 博士がファラデー回転の計測により世界で初めて磁場構造を精度良く測ることに成功した（1986年）。この実験の結果、中心での安全係数 q 値は、鋸歯状振動が続いている間中 1 より明確に小さく（0.7から0.8程度）、一回の崩壊の時に、0.05程度しか変化しない事が判明した。つまり、前述のKadomtsev理論では説明できない事実が明らかになったのである。この実験に触発され、他の実験装置も実験を行い、こうした性質を確認している。

このTEXTORの実験から、鋸歯状振動現象では、

- (1) 崩壊時の磁場揺動が急に爆発的に発生する
- (2) 電子温度などプラズマ分布は急激に平坦化する
- (3) 磁場構造は、しかし、崩壊の結果部分的にしか変化しない

という特徴的な描像が確立された。

この成果を踏まえ、筆者らは、磁力線のストキャスティシティに基づく鋸歯状振動モデルを提案した。このモデルでは、Kadomtsevモデル同様 $m = 1 / n = 1$ のピッチを持った「らせん変形」のダイナミックスを解析するが、その変形が閾値を超えると、大規模な磁力線のストキャスティシティが発生することを論じ、その結果、磁場変動は、部分的に止まるものの、プラズマ温度の分布は大規模な平坦化が起きる事を理論的に示した。同時に、磁場揺動の爆発的成長の度合いも理論的に示した。

今回に始められた共同研究では、磁場分布の高精度計測を通じ、ストキャスティシティモデルの定量的検討を試みる。実験的にも、水平方向に新たな Polarimetry のチャンネルが設置され、更に高時間分解計測が今後行われる手筈になっている。

討論においては、お互いの研究経過を示しあった後に、実験における測定精度の高さや統計的処理の厳密性などが確認された。

Sawtooth 現象のTEXTORによる実験的観測については、

- 1) 高密度領域で尖頭分布のときに Sawtooth が消えること
- 2) NBI の入力変化に伴い、トロイダル回転速度が変化し、また Sawtooth の period も変化する事
- 3) クラッシュの後の磁場の揺らぎがトーラス外側で大きいらしいこと（因果律については不明）
- 4) 密度や温度の揺らぎも外側が大きい、3) と同様に因果律については不明である。

理論モデルの立場から新しい別の Sawtooth のモデルの提案をした。これは、

- 1) $m = 1$ のトリガーを受けないタイプの Sawtooth が存在し得る
- 2) 輸送の崩壊現象は $q(0) < 1$ で、 ∇p が十分大きい時に、
- 3) $q = 1$ の磁気面 $r_{q=1}$ より内側 $r / r_{q=1} \sim 0.6$ 位で起こる
- 4) なだれ現象は、ある半径で止まる

というもので、このモデルの検証などについては今後の実験でつめて行くこととなった。

《今後の具体的共同研究方法》について

実験側のタスクとして

- I. 水平計測チャンネルの整備
- II. 垂直チャンネルによる q 分布の観測データを追加熱プラズマについて増やし拡充する。また特殊な "ペレットショット"、"ガス入射"、"改善モード" などについても観測を行う。
- III. 特に力点を置くものとして
 - a) NI 入力時の B_p の非対称性
 - b) Sawtooth の有り無しの違いと $q(r)$ 分布の違いの比較
 - c) 前兆振動 (precursor) の構造 (Precursor と Crash の関係など)
 - d) $\mathbf{V} \cdot \mathbf{B} = 0$ 面の存在を考慮に入れた上で $P_{NI}(V_\phi)$ と Sawtooth 周期との関係

などが挙げられた。

理論側のタスクとしては

- I. 既に書かれた実験結果の Draft にコメントを早急に出すこと
- II. Sawtooth モデルの改善理論を作成すること
- III. 新しい観測結果の物理的意味を考え、モデル化して行くこと

などが挙げられた。

なお、揺動計測との連携については、今回新たに意見交換がなされた。特に Sawtooth 現象や Pellet 入射に伴う現象に限らずに、輸送現象一般の研究という立場から揺動と $q(r)$ 分布と輸送係数 χ の関係や因果律に注意して研究を進めて行くという同意に達している。

①、②については、簡単な議事録がまとめられた。(添付資料)

今後は、Fax や Mail による通信で共同研究を続け、来年度には、再び会合を持って成果を議論する予定となっている。

感想または希望

TEXTORとの正式な共同研究は初めてであるが、初日のセミナーには思いがけず多数の聴衆が集まったり、予定していた共同研究用の討論の他に、別のトピックスについての討論が数多く申し込まれたりして、科学的活動において大変な歓待ぶりであった。所長も当共同研究に期待をかけていて「必要なことは、できる限り何でもするから言ってくれ」と言い、我々も研究の実なる成果を挙げるのが一番だと思った。

ファラデー回転の計測 (Soltwisch氏) はTEXTORで世界で初めて示したもので、信頼性も非常に高い。我々の理論検証と対応して共同研究を進めることができることは喜ばしいことだと思いつくづいている。

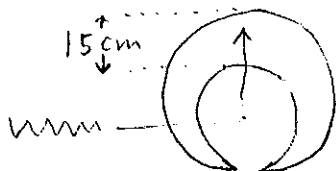
Appendix

Note of Discussions on Sawtooth and Modelling

Discussion records on Sawteeth & modeling.

Soltwisch, Itoh X2, Fuchs, Koslowski (A.Rogister)

I. Method of Accuracy of measurement Supplements to 10.04's talk. (horizontal)

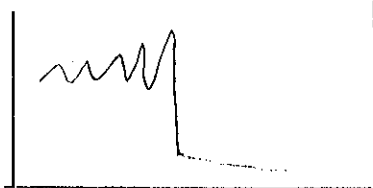


growth, 1 cm resolution

Polarimetry,
beat freq. 100kHz
time resolution 100 μs
S/N high enough to resolve
precursor

final width of magnetic perturbation at the sawtooth crash

II. Observation on precursors.



- accumulation of >100 cycles.
- [• precursor remains while noise disappears.] ?
- *delay : out stream of density to x-point.

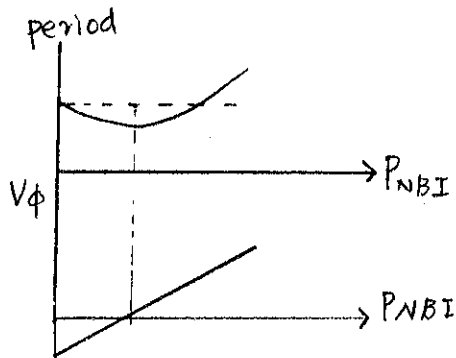
III. Disappearance of Sawtooth (Exp. obs.)

High density ; $n_e(r)$ peaks & sawtooth disappears.

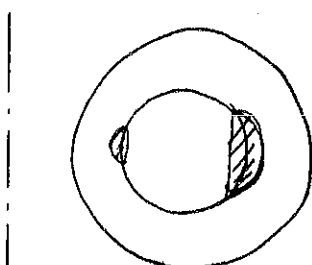
It's plausible that $q(0) < 1$.

Slight change in B_T or \bar{n} can give X2 change in the period of sawtooth.

IV. Influence of NBI/ Rotation on the period.



V. Magnetic structure after the crash.



prominant in outside.
weak (?) in inside.

May be related to sharp gradient after crash.

Toroidicity (Pfirsch-Schluter current) \Leftrightarrow in-out asymmetry ?

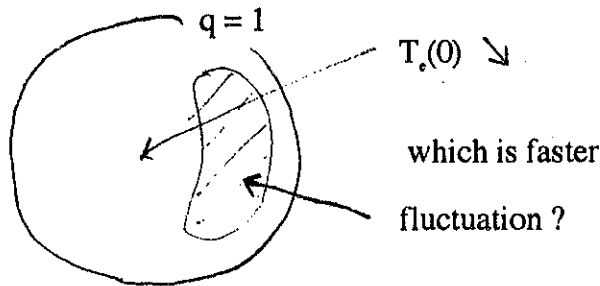
Is it a cause or result of a crash ? ...causality.

VI. Theory

- Possibility ; Crash is not triggered by $m = 1$
→ Long lasting precursor & postcurser.
- Transport catastrophe is possible if $q(0) < 1$ and ∇P is large enough.
- Crash is initiated at the location $r / r_{q=1} \sim 0.6$ or so.
- Avalanche stops at a certain radius.

VII. Fluctuations at the crash. Waidmann (Jadoul)

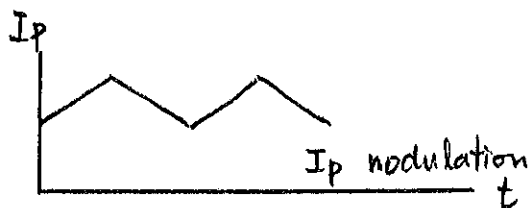
Vennis EPS paper Amsterdam EPS paper - 14 B part I p.319
Horizontal channel reflectometry (Jadoul)
heat pulse followed by density pulse observation
fluctuations inside $q = 1$ surface reflectometry : impossible
scattering
(high frequency modulation) higher than plasma activity.
causality of core ($q < 1$) fluctuation and $T_e(0)$ crash.



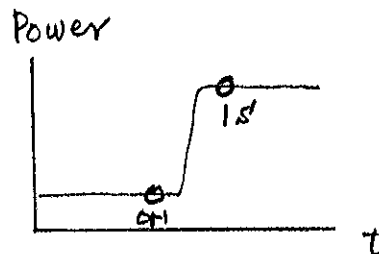
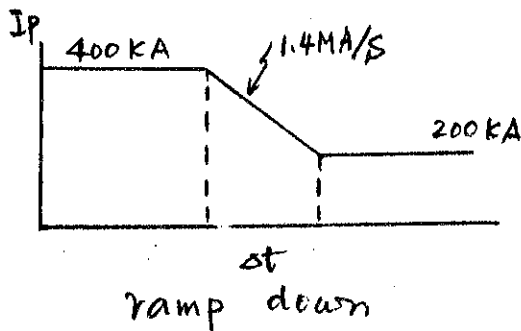
1994.10.05.

Textor Transport experiment (+ Waidmann)

I_p modulation exp. ; density parameter regimes



IMA / 2 sec 100Hz
(1.5 MA / 2 sec max \dot{I}_p)



paper from Textor (PPCF)

q dependence and radial profile of χ_L

Pellet injection case

Finken, (Itoh)², Soltwisch, Koslowski

- Transport related high β p discharge pellet shot

< Pellet injection exp >

- deep penetration of pellet
- NBI deposition profile (internal deposition) measurements

$$n_e(r), T_e(r), T_i(r) ; \alpha - \text{deduced } \chi(r)$$

$$J(r)$$

- Comparison between L-mode & Pellet-mode (as well as improved mode)
- Causality between $S, (J(r)), \chi_i, \alpha$ (pressure) e.t.c

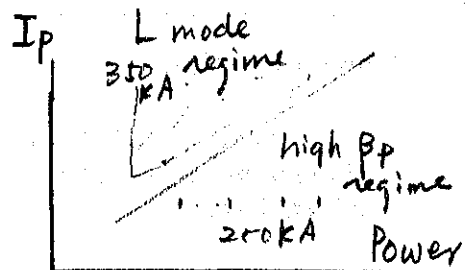
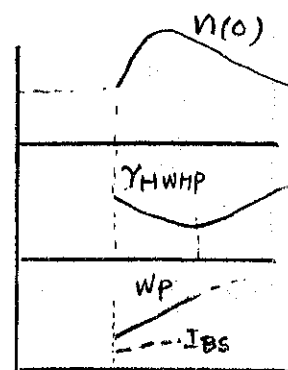
Aims with Pellet injection

- 1) Magnetics
 - a) dips in $H_\alpha(t)$
 - b) ...

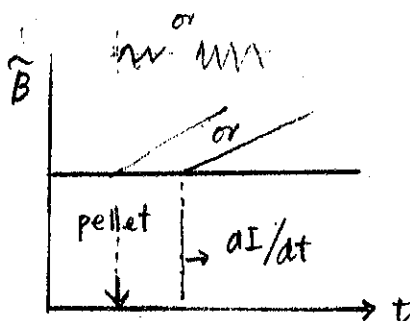
- 2) Suppression of Sawtooth OH, NI

- 3) Confinement OH, IN

transport coefficient 10 - 100 ms (T, n, q)
 "Pinch" a few - 10 msec
 " fast" charge < ms

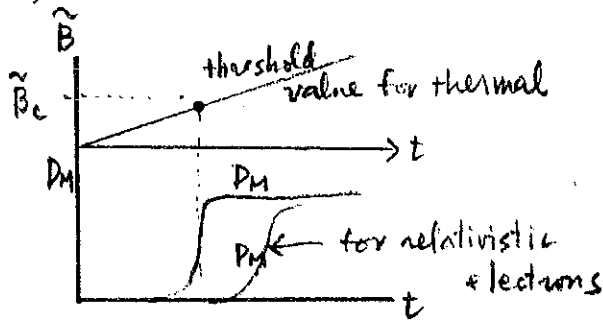


4) New phenomena



- correlation between \bar{B} development and the sudden change of intensity
- dI/dt should be checked.
- Pellet penetration length (where it is deposited) should be checked.

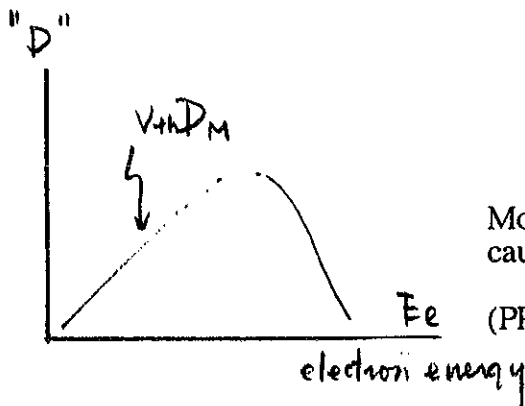
4) continued



• If the magnetic braiding process prevails, there must be a threshold value of \tilde{B} for the thermal electron loss.

25MeV electron

• The loss of high energy electron is very much smaller for energetic electrons than thermal ones.



Most likely, the energetic loss may not be caused by the braiding process.

(PPPL, Minik & Strackan)

Plan for near future

Theory (predictive)
find the most distinct set of parameters
of discharge

filled by Dr. Finken ?

Exp .
should be
checked by experimentalists

target plasma

• OH \bar{n}_e I_p : ...
 \bar{n}_e I_p : ...

Transport $n_e, T_e, T_i, q(r)$
 v_ϕ (if possible) compared
how accurate

• Pellet (deposition location) + NBI (MW)
transport $T_e, T_i, n_e, q(r), v_\phi(r)$

Discussion record on Sawtooth & Modelling

Soltwisch, (Itoh)², Koslowski

Experimental Task

- I. Operational of hor. channel
(excursion of magnetic axis)
- II. Operate extensively vert. polarimetry system.
 - to extend data on q-profile to additional heatings.
 - to apply to special discharges (pellet, gas injection, Improved mode disruption)
- III. Specific investigation
 - (a) B_p -field asymmetry (temporal evolution)
application to NI (condition, reproducible sawtooth)
 - (b) Sawtooth - free discharge ; comparison
(regular to irregular (giant & so on) change occurs related to $q(r)$ change ?
 - (c) Structure of precursor
correlation between precursor phase and crash
 - (d) τ_{SE} .VS. $P_{NI}(V_\phi)$ [remark $\mathbf{V} \cdot \mathbf{B} = 0$ surface inside the column]

Remark

- Equilibrium solver ; simple one (easy to be implemented)
- VMEC code - person hunting in Japan

Theory Task

- I. Draft reading and comments
- II. Sawtooth model refinement from new observations

NIFS-MEMOシリーズ出版リスト
(Recent Issues of NIFS-MEMO Series)

- NIFS-MEMO-1 都築哲哉、東井和夫、松浦清剛、「パソコンによる JIPP T-IIU プラズマの平衡位置フィードバック制御」1991年4月
T.Tsuzuki, K.Toi and K.Matsuura, "Feedback Control of Plasma Equilibrium with Control System Aided by Personal Computer on the JIPP T-II Tokamak" ; Apr.1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-2 久保田雄輔、大林治夫、宮原 昭、大野和子、中村光一、堀井憲爾、
「環境磁界の研究 (I) 三次元積分磁束計の開発」1991年7月
Y.Kubota, H.Obayashi, A.Miyahara, K.Ohno, K.Nakamura and K.Horii,
"Development of Three-Dimensional Compact Magnetic Dosimeter for Environmental Magnetic Field Monitoring" , July,1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-3 「核融合科学研究所技術研究会; 1991年3月19, 20日 土岐文化プラザ」
1991年8月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories; Mar. 19, 20, 1991"
Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-4 「プラズマ中におけるカオス現象」1991年8月
"Chaotic Phenomena in Plasmas" , Aug. 1991 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-5 山崎耕造、「ファジー論理のトロイダルプラズマ制御への応用」
1992年2月 "Fuzzy Logic Application to Troidal Plasma Control" ,
Feb. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-6 平成3年度 核融合科学研究所 支援調査共同研究報告書 「大出力
マイクロ波源の開発に関する調査研究」1992年4月
"Development of High Power Microwave Source" , Apr. 1992
(In Japanese)
- NIFS-MEMO-7 平成3年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究)研究成果
報告書
「プラズマにおけるカオス現象」1992年11月
"Chaotic Phenomena in Plasma, II" , Nov. 1992 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-8 NIFSシンポジウム報告書「核融合炉材料照射用強力中性子源の設計
と大学の役割」1993年1月
"Design of Intense Neutron Source for Fusion Material Study and the Role of
Universities" , Jan. 1993 (In Japanese)
- NIFS-MEMO-9 平成2、3、4年度 核融合科学研究所共同研究研究会研究成果報告書
「開放磁場における電位と輸送機構」1993年4月
(Ed.) K. Yatsu and T. Hatori "Potential Formation and Transport in Open Field Line
Systems" , Apr. 1993
(In Japanese)
- NIFS-MEMO-10 伊藤公孝、「人口太陽は燃えるか ー核融合研究最前線ー原子力オープン・
スクール講演」1993年5月
K. Itoh, Reports of NIFS Collaboration Workshop from 1990 to 1992 at National
Institute for Fusion Science.

"At the Front of Fusion Research -Introductory Lecture Open to Public-"
May 1993 (In Japanese)

NIFS-MEMO-11 (Ed.) T. Kato

"Atomic Physics and Radiation in Divertor and/or Disruption Plasmas"
Aug. 1993 (In English)

NIFS-MEMO-12 平成4年度 核融合科学研究所 共同研究(調査支援研究)研究成果報告書
「プラズマのカオス現象(まとめ)」1993年10月
"Chaotic Phenomena in Plasma, III", Oct. 1993
(In Japanese)

NIFS-MEMO-13 久保田雄輔、野田信明、相良明男、井上徳之、赤石憲也、本島修,
「プラズマ対向材料の開発・研究用高熱負荷試験装置ACT」1994年3月
"Electron Beam Irradiation Test Facility for Research and Development of Plasma
Facing Components", Mar. 1994
(In Japanese)

NIFS-MEMO-14 「平成5年度核融合科学研究所技術研究会
日時:1994年3月23日-24日
場所:セラトピア土岐、土岐商工会議所」1994年7月
"Proceedings of Symposium on Technology in Laboratories
by Department of Engineering and Technical Services", July 1994
(In Japanese)