

**News Letter No.32,
 September 7, 2012**

ニュースレター第32号をお届けします。
 「領域終了」にあたり皆様からいただきました
 感想等の第2弾です。



目次

| 領域終了にあたり皆様からいただきましたご感想等(順不同) | | 頁 |
|------------------------------|--------------------------|---|
| 1. 計画研究を終えて | 上田 良夫 大阪大学 (A01 班計画研究代表) | 1 |
| 2. 感想文 | 吉田 浩子 東北大学 (公募研究 H20-23) | 2 |
| 3. 特定領域研究を終わっての個人的感想 | 深田 智 九州大学 (B01 班計画研究代表) | 3 |
| 4. あとがき | 田辺 哲朗 (領域代表) | 9 |

1. 特定領域研究を終えて

上田 良夫 大阪大学 (A01 班計画研究代表)

田辺先生、5年間ご苦勞様でした。これだけのプロジェクトをとりまとめるに当たっては、大変なご苦勞があったと推察しますが、全体として大きな成果を得ることが出来ました。これらの成果は、今後のトリチウム研究や、核融合炉開発の分野に大きなインパクトを与えるものです。また、これまで交流の少なかった研究者が密接に情報交換や研究協力を行うようになり、今後の新たな研究展開が期待されます。

私事で恐縮ですが、本プロジェクトの始まった2007年度の前年に私は大阪大学で教授を拝命いたしました。研究室をこれからどのように運営していくか、どのような研究テーマに対して研究資源を投入するか、学生に対して魅力ある研究室を作っていくためには何をすべきか、等々、日々悩みが付きませんでした。そのような時期に、このプロジェクトに参画させていただいたことで、研究の主たる方向性を決定することができ、また基盤実験装置の整備を進めることができました。さらに、Lee氏という優秀な人材を特任研究員として雇うことができ、研究体制が整いました(その後、助教に就任)。また、多くの学生に国内外で研究発表の機会を与えることができました。このように、本特定領域に参画することで、研究室が大海に船出することができたといえます。本当にありがとうございました。

私の担当させていただいた計画研究A01班では、炉内トリチウム挙動に関わる実験研究が主なテーマでした。ここでは、特に炉内の複雑環境と言うことを念頭に置き、プラズマ中の不純物影響、中性子照射損傷影響(イオン照射損傷で模擬)、ダスト影響、及びトリチウム除去法について、基礎実験研究を進めました。これと並行して、実機での現象の解明を行うという視点から、JT-60U トカマク装置での炭素壁材料の損耗・輸送・再堆積とリテンションへ

の影響の研究を進めました。これらの研究成果の多くは、国際的に注目され、新しい分野を切り開いたと言えます。今後この研究をさらに進めて、基礎学術研究への貢献、他の関連分野への波及、あるいは核融合炉開発（特に ITER）への貢献をしていくことが我々の使命と感じております。

さらに、これらの実験研究成果は、プラズマ材料相互作用研究の理論的研究やシミュレーション研究に新たなテーマを投げかけたと思っています。本特定領域研究の中で、理論・シミュレーション研究と協力してこれらの現象の解明やモデル化を進めたいと思いましたが、本実験で取上げた複雑環境下での現象について、理論やモデリングの研究は非常に難しいということを確認しました。ただ、研究の着実な進展は確認させていただきました。また、実験研究の方でもそれらのための十分なデータを提供できなかった部分が多くあり、この点については反省しております。今後は、理論シミュレーション分野と更に協力を深め、分子動学的アプローチ、速度論的アプローチ、あるいは量子統計力学的アプローチなど、様々な研究方法により、核融合炉環境下での高フラックス・低エネルギーイオン照射という環境下での現象の理解を進めていくことが、大きな課題と考えています。

これらに加えて、本特定領域研究の中核を担った若手・中堅研究者の方には、今後ますます研究を発展させ、世界で認められる研究者として成長して欲しいと思います。我々の大きな目標（核融合炉開発）を強く認識していただき、目に見える貢献ができるよう日々研究に励んでいただくと共に、基礎学術研究という観点からも大きな貢献をしていただければと強く願う次第です。皆さんの研究フィールドは世界です。世界の中で切磋琢磨し、決して小さな殻に閉じこもらないようお願いします。

末尾になりましたが、本特定領域研究のまとめ役として大変なご尽力をいただいた、朝倉先生に深く御礼申し上げます。

2. 感想文

吉田 浩子 東北大学（公募研究 H20-23）

まったく違う分野から公募に応募し、採択していただいたからは核融合について一から教わりながら進めて参りました。C2 班波多野先生の適切なアドバイスのおかげで順調に進めることができおりましたが、昨年、東日本大震災で周辺環境が一変してしまいました。予定した計画が大幅に遅延してしまい、達成できなかった部分が残ってしまったことをたいへん申し訳なく残念に思っております。

特定領域研究が終了しましても、引き続き研究を進めて行こうと思っています。今後ともご指導ご鞭撻の程をどうぞよろしくお願いいたします。

3. 特定領域研究を終わっての個人的感想

深田智(九州大学)

科研費特定領域の計画研究 B1 班を 5 年間計画推進させていただき、今回の報告書提出を持って一応の終了の次第になりました。計画研究で当初目標とした研究をどのように遂行し、また研究成果をどのように得たかにつきましては、プラズマ・核融合学会誌のプロジェクトレビュー論文(現在印刷中)に詳しく述べていますので、それを参考にさせていただきたく思います。ここでは論文に出来ないこと、特に個人的思いを書かせていただきます。

本特定領域研究「核融合・トリチウム」の主たる目標は、核融合炉の早期実現のため、トリチウム燃料の取扱に関する危険性を、世界の人が受け入れることができるレベル以下まで保証し、かつ自給型の核融合炉が本当に実現可能かを実証的に明らかにすることだと思います。この立場は基本的に工学の立場であり、計画実現を前提に考えています。「実現可能でない技術開発に研究投資することはできない」が社会の基本姿勢だと思います。貴重な税金を使って研究遂行してきましたので、核融合炉の実現に一步でも二歩でも近づきたい、それが私たち研究者としての思いです。本当に必要なことに最低限の費用と最高の熱意を持って研究を遂行するとともに、その成果を具体的に提示する、このことが必要と思っています。それが私の基本的立場です。そして果たして、そのことが具体的に提示されたのでしょうか。この特定領域研究が終了した今、自分自身に自問しながらその思いと反省を述べさせていただきます。

最初に結論というか、これだけは書きたいことを述べます。それを最初に要約すると、(1)「核融合研究の様な先端エネルギー分野の大型研究で、多くの人々の希望を集約し適える合理的手段提示の難しさ」、(2)「同じく大型研究で研究の進展をどのように提示するか、えてして核融合炉実装置が無い中、どの様に成果を提示できるか、社会に貢献できるかをいつも自問しながら研究を進めていくことの必要性」、(3)「放射能を扱う研究であり、安全性向上を図るとき、逆に危険性の誇大広告にならないか」である。これを自分なりに考えた結果を、いろいろ他の情報を交えながら説明します。

科学技術は、いま目に見えて進歩しています。例えば過去の歴史を振り返っても、発明と技術革新のスピードが線形に進展するものもあれば、

1903年世界初のライト兄弟動力飛行機



1914年ドイツ戦闘機



DC-8 (1970年代の代表的ジェット旅客機)



写真は <http://ja.wikipedia.org/wiki/DC-8> より取得

一時期爆発的に進むものがあります。その時代の社会の需要とマッチすればするほど技術革新は爆発的に進行しますし、逆に経常的な努力により、長く少しずつたゆまなく進むものもあります。どちらがいいとか悪いとかではなく、社会のニーズが変わったときに必要な成果を掲示できるかです。

例えば、爆発的に進む有名な話として、飛行機開発があります。ライト兄弟が動力付き有人飛行機を発明実証したのが1903年12月です。そのときの航続距離は260mでした。そのわずか10年後の1914年に最大速度140km/時のドイツ戦闘機が銃発射装置付きで空を飛んでいます。これはたまたまその時代に、第一次世界大戦が起こったことも一因かもしれませんが、技術の優秀性と有効性に世界がこぞって競い合った結果とも考えられます。その後、飛行機そのものは、空気力学の流体不安定性をいろいろ克服するとともに、経済性と利便性をはかりながら現在まで進んできました。その成長を定量的に表すのは難しいけれど、最初の飛行成功から戦闘機に10年程度で進み、その後紆余曲折があり、第二次世界大戦で大型爆撃機が開発され、1960年代にはジェット旅客機DC-8に至りました。DC-8は、私も印象深く、最初の日米間太平洋ノンストップ直行便に使われ、またマッハ1以上を達成した最初の旅客機であり、また日本赤軍がハイジャックしたのもこれだったと記憶しています。この旅客機が出る以前は、日本からアメリカに行くのは南回り（ハワイで一泊）するか、北回り（アラスカで一泊する）かでした。それより私の印象が強いのが、ものすごくうるさい飛行機でもあったことです。私の大学生時代の箱崎講義室が福岡空港滑走路の延長線上にあり、離着陸時、特に離陸時の音があまりにうるさく、教室自体が2重窓の防音構造になっていても、1時間に数度は、通り過ぎるまで講義を休止するのが常でした。福岡空港の夜間10時以降の利用停止の判決が出たのは私が卒業してからです。個人的にはDC-8ジェット機が原因ではないかと思っています。巨大技術はなかなか変更が難しいものですが、そのときの航空機騒音を考えると、いまのジェット機の騒音はまったく気になりません。裁判所判定はいまでも続いているので、福岡空港夜間差し止めは続いています。いまでは文句を言う人は少ない様に感じます。騒音低下、航続距離増加、飛行速度増加等、一見同じ様な航空機に見えても、隠れた技術革新が進んでいる結果だと思います。騒音対策は流体力学技術の総力を上げて解決した結果です。また航空機の燃費対策向上も隠れた技術更新です。1970年頃は、太平洋を渡るのがやっとだったのが、今は中部シカゴ、東海岸ワシントンまで一気に飛びます。いまこれを書いているのもシカゴ行きジェット機に乗ってきた先のテネシーのホテルです。巨大技術のひとつである、飛行機技術の進歩はこの様な姿で進んで来ました。飛行機は安全に飛ばし、乗客を安全に運ぶことが最優先です。落ちてしまえば、元の木阿弥です。安全に関する規制や制限も多いと思います。その枠内で利便性、航続距離増加は確かに人々を豊かにしてきました。安全に飛行機を運ぶことが第一で、騒音とか飛行機事故の減少、航続距離の増加が実現されてきました。これが飛行機技術の進歩の過程です。

もう一つの例として、最近では、携帯電話の技術革新も目を見張ります。あまりに早いので、私自身は新しいタイプは使えません。調べますと、1985年に移動式ショルダーホンが日本で発売されました。重さ3kg程度で移動無線機の範疇に入るようなものが、社会の小さな需要に応えていました。私自身はニュースで見た程度で実際に現物を使ったことはありません

ん。今は iPhone を含めた携帯電話が、日本で一人 1 台に相当する 1 億 2000 万台の契約数になって来ています。パソコンの計算速度も 1982 年の PC9801 で 5MHz の計算速度が、2010 年では 2.4GHz と 500 倍の処理能力に性能アップしています。基本的なところは、携帯電話では外に持ち運びが出来、必要なときにその場所で、連絡が取れる性能を提供することです。その基本形を拡張していき、使い勝手、処理速度、記憶能力、さまざまな情報伝達が可能とされました。計算機についても、卓上で計算と文書作成ができる基本形は最初出来上がり、初期の大型計算機以上の性能が、今はノートパソコンで実現できる時代です。これもすべて技術革新が目に見えて進む状況とします。飛行機もそうだったと思いますが、携帯電話もパソコンも最初出足は、少しいびつな形をしていたと思います。また使い勝手も悪かったと思いますが、基本的なところがしっかりと地についており、社会の需要に合うようになって改良が適切にされ、日々の努力で改善し、伸ばしていき、社会の要求にも適合し、今の形になったと思います。いまパソコンが無いと、仕事はまったく進まないと思います。それほど深く社会に根付いています。大事なところは基本設計の段階で整えられ、その後努力して改良できるところがうまく社会の需要に応えた結果だと思います。巨大技術は、基本構成自体は変更するのが難しいのですが、欠点を変更し、利便性を高め社会の需要に合わせていくこれが必ず必要で、またこれがないと社会の信頼が失われてしまいます。

変遷過程が定常的に進歩している例は他にも簡単に見つかります。セブンイレブンは、1974 年に東京で 1 号店ができてから、現在まで取扱品目をさまざまに変え、変遷させながら、売上高を経常的に延ばし続けているものの一つです。これも上二つの例と似た現象と見てよいと思います。最初はパン屋に毛が生えた程度のようなものが、いまでは一つのスーパーの様に何でも置いてあります。文字通りコンビニにエンスストア内部の取り扱い品目の増加と供給技術の合理化、進化がこの様に店舗数や売上数の目に見えた増加になっています。私自身個人的には、これがよかったとは、思いません。特に地方における個人商店や商店街の活気の低下を見てきて、顧用の受け皿の減少を見ると、本当によいのかを今言うことはできないと思いますが、セブンイレブンの店舗数増加曲線を見ると、今の日本社会全体の要求には応えて来た結果と見てよいと思います。

別に自虐的になるつもりはありませんが、私自身はときどき「核融合研究の進展は果たして目に見える成果となっているでしょうか」そして「基本形ができたときに社会の需要に応じて変えていけるか、言い換えれば商業炉を実現すること」を自分自身で気にかけています。成果報告書上の論文数で見ると、本科研費特定領域を遂行して、数多くの実験をおこない、

1985年(ショルダーホン)



2010年 (iphone)



写真は <http://ja.wikipedia.org/wiki/携帯電話>より取得

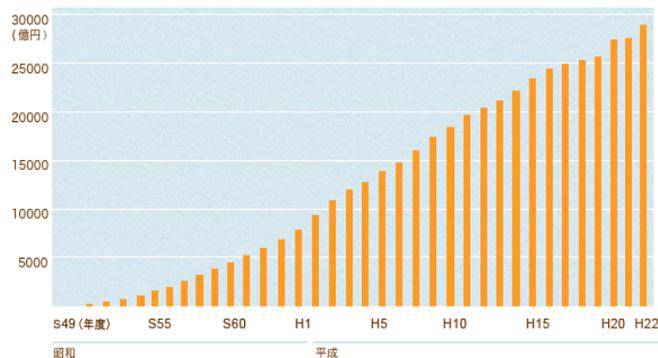
研究成果をいろいろと報告しましたので、進展したと胸を張って言えると思います。必要なことは、巨大技術を社会の需要に合わせる努力、そして基本形のしっかりとした活用を見極めること、これが実際的な核融合工学の進展と直接関係があると思います。

そして重要なこととして、私が関与している「トリチウム工学は進歩している」と公言しても、はたして社会の需要に十分応えているのでしょうか。それを反省しながら実験計算をおこなっています。目に見える形でなくとも、一つの形・方法・方式・思想を提案する形でもいいと思います。提案し、実証したものが、将来の目になり、大きな役に立つことができればそれで本望と思います。そしてこれをいつも気かけながら今後も進めていきたいと思っています。

核融合炉は高密度エネルギー源です。結果として大量の放射能 (10^{18}Bq 程度) を保有します。この危険性だけを誇張して述べているうちは核融合炉の実現を遅らせるとしか考えられません。何もトリチウム放射能を隠すことを奨励している訳ではありません。核融合炉を安全にかつ長期のエネルギー源として、社会の需要に応える形にして、出来るだけ早く核融合炉を実現するこれが私の望むところです。

核分裂炉に関し、高速増殖炉は最初米国アイダホ州のアイダホホール市から西に1時間ほどまっすぐ車で行ったところで1950年頃にEBR-1,2のNa冷却高速増殖炉実験炉が試験されました。その後、1960年代にフランスで商用炉フェニックスが作られ、最近運転停止されました。日本でも、もんじゅ原型炉が1995年臨界に達して、高速増殖炉実用化に大きく進んだかに見えました。夢の原子炉と言われ、初期U燃料装荷後は、燃料自給でき、資源的には数千年U燃料が使用できると宣伝されていました。少なくとも私の学生時代はそう言う風に教えられ、そのこと自体の内容は今も事実です。過去の実験実績から言えば、基本的技術に問題点は残されていないのではないかと思います。しかし経済性、ナトリウム安全性、さらにPu利用に伴う核拡散性に対する明快な答えが社会でまだ受け入れられず、ナトリウム事故等もあり、現在運転再開の見込みがない状況です。この50年間にそれこそ数多くの研究がなされました。論文数も数多いと思います。この間、アメリカが現在まで高速炉開発を休止し、使用済みウランを再処理せず、そのまま保管しています。最近その政策に変更の兆しがある匂いがしますが、今後はまだ未解明です。

核融合炉研究に関して、私が学生の頃唯一の教科書がありました。多分原本は1960年代に発行された英語版ではないかと思います。(その本の一部をコピーしていて、数年前にも家のファイルのどこか見つけた記憶があります。何かのネタ探しにしようとして著者(英語版の翻訳)や内身を今回確かめるため家中を探しましたが、見つけることはできませんでした)。ただその本の最初の方に核融合炉ブランケットの記述があり、液体リチウムをブランケットに装荷し、増殖トリチウムを回収し利用する。これが実現されるのが2000年頃(記憶だけですので



セブンイレブン売上高推移

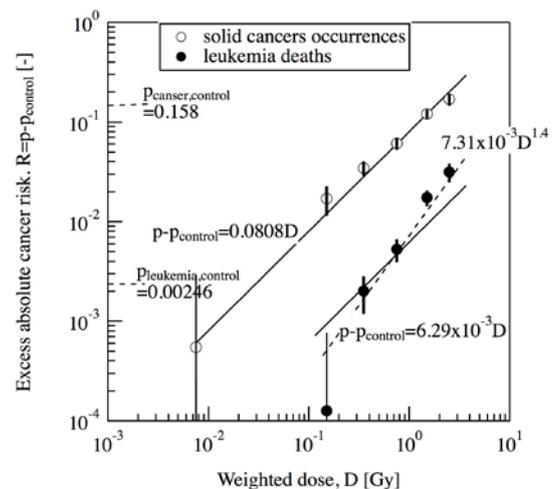
<http://www.sej.co.jp/company/suii.html> より

若干違いがあります) である、と書いてあったように思います。そして核融合炉はその予想通り実現され、社会に発電炉として電気供給しているのでしょうか。核分裂と違って入熱と出熱を均衡させる技術達成が難しいと言われていましたが、これはいくつかの炉で達成されています。しかし実際にブランケットを作ってこれを目の前に提示することが必要で、これにはITERを待ち、それも最後の方でTBM実験をおこなって初めて達成される予定です。従って、まだまだ少なくとも15年ぐらい先のことです。それまでは計算上 $Q=10$ を達成したとかの話が出てくるということだと思います。この成果で、社会が果たして核融合炉の本当の実現まで待ってくれるのでしょうか。

核融合科学分野は、核分裂原子炉分野とともに、巨大技術は政治的です。大きな予算を伴うので、それは仕方が無いとしても、現在の日本の政治が、無党派層の意見の動向で決まることが多く、特に大型予算については政策がらみで議論がされているので、10年-20年の技術達成を言っているだけではなかなか今後長い期間を研究開発に打ち込むことができるか心配です。そのためには社会への貢献が必要になると思います。そのことで何か無いかといういろいろ考える毎日です。

もう一点、考えている重要なことに、フレキシビリティの課題があります。現在日本ではほとんど停止していますが、原子力発電所は一度建てられると、厳重な原子炉規制法にのっとり、基本構成要素をなかなか変更することは難しい点があります。燃料棒等は定期的に換えますが、基本構成要素はなかなか換えられません。臨界状態が変わる可能性があるところは、特にいろいろ実働作業と書類作業が必要です。そのため、新規の原子炉では、その時代その時代の最新技術を使って炉が構成されていますが、昔の炉は、見た感じ最新式とは言えないものがある様に思います。核融合炉ではどうでしょうか。真空容器や磁場コイルはほとんど最初のものをそのまま廃棄終了まで使い続けると思います。熱交換器等はより機能性の高いものが使われるかもしれませんが、表向きあまり違いが見えてきません。実際には第一壁やダイバーターの交換に関する議論がなされている程度です。見た目の技術革新が見えにくい点が巨大技術の欠点だと思います。その点、社会の要求に合った実施活動を必要があると思います。

トリチウムについても、現在、第一壁への大量のトリチウム取込みが懸念され、これに関連したトリチウム安全性問題の懸念を唱える研究も多いと思います。例えそれが事実としても、トリチウム放射性については過去から完全に分かっていた事であり、い



白血病死率と全固形がん発症率を全被曝量(重みをつけた Gy 換算)の関数として表した。データはRERF発行の最新版データを自分なりに計算したもので、これまで0.1Gyまでが線形仮説(LNT)で成立すると言われていたが、統計処理をおこなうことにより、0.01Gyまで全がんについては外挿できることが分かった。またその量は自然発生率の1/100程度であることが分かった。詳しくは参考文献で。

ままでトリチウム保有量制限が 1kg と見積もられるところが、いまさら数 kg になると言ったところで、これが核融合炉の進展について何も得られるところはありません。實際上、初期装荷トリチウム量の確保は大きな課題になるかもしれません。少し言い過ぎかもしれませんが、反論も多いと思います。また燃料処理系で、トリチウム同位体分離が必要でないならそれはそれでいいと思います。核燃料を作る訳ではありませんので、純トリチウムを得る必要もありません。これを少なくする努力、回収法の探索がまさに必要で、我田引水で自分の都合の良い方向に議論を導くことはできるだけ避けたいと思って研究してきました。そう言う意味で、この B 班では核融合炉プランケットのトリチウム回収に重きを置き、効果的なトリチウムサイクルの提案、環境へのトリチウム漏洩を少なくする研究をできるだけ進めこれを核融合炉の実現に一步でも近づけたいという気持ちです。

最後に放射線についての思いを書きます。こういう自分の意見を言う機会がないので、少し議論が発散しますが、ご了承ください。現在の世論から言えば、放射能の危険性をできるだけ下げたい、いやゼロにしたいとの意見が多く述べられています。環境放射能や体内にある天然核種放射能の事実を述べたとしても、いまではそれについて聞く耳を持たない人が多いのも事実だと思います。昨年の炉心事故とその後の放射能飛散事故で一度失った信頼を取り戻すには長い努力が必要です。

確かに 2002 年に BSS 免除レベルが改訂され、トリチウムはその最も軽いレベルにランクされ、1GBq が放射性核種としての法的な下限数量です。1 事業所でこの量以下であれば、自由に取引が出来、法規制がないのが現状です。最近知った言葉に、「放射能危険度」があります。要するに、そこに保有されている放射性同位元素を希釈し、放射性障害予防規則で定められた濃度以下に希釈するのにどれだけの空気あるいは水で希釈する必要があるかという指標があります。それを調べた人によると、核分裂炉に比べて核融合炉は数千倍の安全指数がとれているとのことです。

そこで、放射線被曝によりどれだけの人がガンになり、あるいは死亡するかについて、自分なりに関心を持って調べてきました。広島や長崎で被曝された方の放射線被曝影響のもっともオリジナルなデータが放射能影響研究所 (RERF) の年次レポートとしていまでも報告されています。その最新データを自分なりに解析し、現在まで外挿できるとされている 0.1Gy までのレベルを、広島や長崎で被曝された方の実データを基にどこまで実際に外挿できるかを調べました。細かい計算は、今年論文として発表しましたデータを参考にしていただくとして、要するに、例えば広島と長崎で被曝しなかった人の統計をとると、全固形がんで死ぬ人は、1 万人あたり 1580 人で、原爆で被曝した線量と全固形がんで死亡した人の数をプロットすると、線形に増加する事が分かります。この事自体は前から分かっていたのですが、いままでは 0.1Gy までが確認できるぎりぎりだったのですが、統計処理を施すと、0.01Gy まで線形仮説が外挿できることがわかりました。例えば、10mGy 被曝すると、先ほどの 1580 人が 1588 になると予想されます。元データは等価 Gy でまとめられていますので、がん発症率と直接関係があると考えられる Sv 単位にそのまま直すと専門的には誤解を生むかもしれませんが、中性子線と γ 線等の線質係数をきちんと処理した元データで判断すると、年間 1mSv のいまの管理区域境界で、1 年間被曝すると、全ガン死亡者数が、1581 人な

るという数値が出てきます。白血病発症率についても調べたところ同様な結果がでてきました。少なくともホルミシスも逆にがん発症率が上がるという結果もそこには現れていません。最近の放射能への言論については多く感情的なものが多いので、実データの現状の最新データを自分なりに解析した次第です。参考までに参考文献に示します。興味がある方は参考にしていただければ幸いです。

最後は思いつくままに書きました。建設的な批判をお願いします。

参考論文

深田智、鈴木晶大、寺井隆幸：プラズマ核融合学会誌プロジェクトレビュー論文第4章（現在印刷中）

深田智：九州大学総合理工学報告、低線量放射線被曝によるがん発生に関する元データの誤差論に基づく考察、33巻3号(2011)9-16.

4. あとがき

田辺 哲朗 領域代表

ニュースレター第32号をお届けしました。「領域終了」にあたり皆様からいただきました感想等を3回(NL 31-33)にわたってご紹介しています。本号ではその2です。

深田先生より力作を頂戴しました。もっと早くから、このような皆様の思いを頂戴し、紙上にて議論していただければ、もっと良かったのにと反省しています。いまからでも遅くはありません。是非是非、皆様の思い、これまでニュースレターで展開されている代表の意見や、総括班からの巻頭言を俎上に載せての議論、あるいは皆様の核融合に関する思い等々、お書きいただければ大変ありがたいですし、またそれがきわめて有用ではないかと思えます。是非皆様のご意見をお寄せください。

このニュースレター「皆様からの感想」特集号は、33号以降も続けていく予定です。お楽しみに。また改めての、ご感想やコメントをお待ちしています。批判的なコメントも大歓迎です。