

Cold Fusion Research Laboratory (Japan) Dr. Hideo Kozima, Director

E-mail address; [cf-lab.kozima@nifty.com](mailto:cf-lab.kozima@nifty.com)

Websites; <http://www.geocities.jp/hjrfq930/>

<http://web.pdx.edu/~pdx00210/>

News のバックナンバーその他は上記ウェブサイトでご覧になれます

**常温核融合現象 CFP** (The Cold Fusion Phenomenon)は、「開いた(外部から粒子とエネルギーを供給され、背景放射線に曝された)、非平衡状態にある、高密度の水素同位体(Hand/D)を含む固体中で起こる、核反応とそれに付随した事象」を現す言葉で、固体核物理学(Solid-State Nuclear Physics)あるいは凝集体核科学(Condensed Matter Nuclear Science) に属すると考えられています。

CFRL ニュース No.95 をお送りします。この号では、次の記事を掲載しました。

1. Proc. JCF15 が発行され、JCF ウェブサイトに掲示されました
2. CFP 研究の歴史から(9)― 常温核融合現象における定性的再現性と複雑性

### 1. Proc. JCF15 が発行され、JCF ウェブサイトに掲示されました

2014. 11 月1―2に北海道で開催された JCF15 の *Proceedings* が発行され、下記 JCF ウェブサイトに掲載されました;

[http://www.jcfrs.org/proc\\_jcf.html](http://www.jcfrs.org/proc_jcf.html)

The Contents of the Proceedings を以下に転載します;

CONTENTS (of the Proc. JCF15)

Preface: S. Narita ----- i

JCF15-1. Comparison of some Ni-based nano-composite samples with respect to excess heat evolution under exposure to hydrogen isotope gases

A. Kitamura, A. Takahashi, R. Seto, Y. Fujita, A. Taniike and Y. Furuyama

-----1

JCF15-2. Deuterium adsorption test using Pd-Ni and Pd-Ag multi-layered samples

H. Kudou, S. Kataoka, K. Ota, S. Narita ----- 20

JCF15-3. Analysis of heat generation by adiabatic calorimeter and matrix calculation for the reaction of fine metal in deuterium gas	
T. Mizuno, H. Yoshino	33
JCF15-4. Background for Condensed Cluster Fusion	
A. Takahashi	63
JCF15-5. Convergence Aspect of the Self-consistent Calculations for Quantum States of Charged Bose Particles in Solids	
K. Tsuchiya and S. Kounlavong	91
JCF15-8. Computer Simulation of Hydrogen Phonon States	
H. Miura	100
JCF15-9. Is Gamma-Less Transmutation Possible? – The Case of Metal plus TSC and BOLEPA.	
Takahashi	125

## 2. CFP 研究の歴史から(9) — 常温核融合現象における定性的再現性と

### 複雑性 —

#### 2.1 序論

我々は、常温核融合現象(CFP)の現象論を一つのモデル(TNCF モデル)を使って展開してきました[Kozima 1994, 2006, 2014]. その過程で、CFP には三つの法則、あるいは規則性が存在することを示しました; (1) 第一法則:核変換生成物にたいする安定性効果, (2)第二法則; 過剰熱生成頻度の強度にたいする逆べき法則, および (3) 第三法則: 現象(中性子放射と過剰熱生成)強度の時間変化における分岐とカオス [Kozima 2011].

CFP における三法則の一つである第2法則を含む一般的な  $1/\rho^{\delta}$ -divergencies ( $0.8 < \delta < 1.4$ ) については、Schuster が複雑性との関連を明らかにしています; a class of maps (difference equations or recursion relations) which generates intermittent signals displays  $1/\rho^{\delta}$ -noise [Schuster 1984 (Sec. 4.3)].

このような法則性を含む CFP の特性は、この現象が非線形力学で研究されてきた複雑性 Complexity として考察されなければならないことを示唆していると思われます [Kozima 2012, 2013]. この論文では、非再現性 irreproducibility と予測不可能性 unpredictability を手掛かりとして、CFP の複雑性を明らかにしようと思います。

一般論として、20世紀半ばまでに展開されてきた近代物理学が、最近の数十年の間に非線形力学が対象とする確率的性質をもつ世界に拡張され、われわ

れに、より完全な科学的世界像を与えることができるようになったことに注意したいと思います。この展開に携わった I. Prigogine が、その展望を優れた著書で与えています[Prigogine 1996]。読者の便宜のために、同書の *Introduction (A new Rationality?)* を CFRL site の the News No. 95 の欄に掲載します;

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/News/news.html>

本論に入る前に、いくつかの語彙を説明しておきます。

### **(1) The cold fusion phenomenon (CFP)**

The cold fusion phenomenon (abbreviated sometimes as “the CFP”) is the name used in our papers to express “*Nuclear reactions and accompanying events occurring in open (with supplies of external particles and energy), non-equilibrium system composed of solids with high densities of hydrogen isotopes (H and/or D) in ambient radiation*” belonging to *Solid-State Nuclear Physics (SSNP) or Condensed Matter Nuclear Science (CMNS)*.

There are very many events observed by sophisticated experiments which are, however, not explained using physical principles established by the end of 20<sup>th</sup> century. And therefore, the CFP is not recognized as a part of science by scientists in the established branches of science and its publication is limited in a small circle of specific publications.

One of the many reasons induced such a situation is the extraordinary conditions to get positive results in the CFP which are inexplicable from known principles of science. The most controversial condition of the CFP will be the irreproducibility or unpredictability of experimental results which is the theme we take up in this paper to bridge the abyss between pros and cons of this phenomenon making the nature of events in the CFP clear logically.

To start the investigation of the essential points of the CFP, it is useful to arrange the processes occurring in the experiments of the cold fusion phenomenon.

### **(2) CF material and cf-matter**

The field where the CFP occurs may be a special one because there occur events incredibly different from those occurring in other fields of established science, we have to use specific terminology which does not have civil right in other branches of science.

We define “the *cf-matter*” as the necessary condition (or state) for occurrence of the CFP in a “*CF material*” (a solid material composed of a host element (e.g. C, Ti, Ni, Pd, etc.) and a hydrogen isotope (H or/and D)).

### **(3) Construction and Destruction of the cf-matter**

Construction and destruction of “the cf-matter” (a state in a “CF material” where the cold fusion phenomenon (CFP) takes place) occur according to the atomic processes (microscopic processes) in a CF material arranged by an experimental setup (macroscopic processes) in a dynamical, non-equilibrium system composed of multi-component inhomogeneous materials (CF materials).

The construction is governed by essentially stochastic (or statistical) atomic processes occurring in inhomogeneous materials composed of a solid (transition metals or carbon) and hydrogen atoms H (and/or deuterium atoms D). The atomic processes include adsorption of H (D) on the surface of solids, absorption of H (D) into the solids, occlusion of H (D) in the solids, formation of an intermetallic compound (e.g. PdD, NiH, etc.), or formation of a regular array of a hydrocarbon (e.g. XLPE, microbial cultures, etc.) where exist stochastic processes (diffusion) and/or self-organization of a stoichiometric compound from non-stoichiometric solution.

The macroscopic arrangement of an experimental initial condition does not completely determine the microscopic initial condition at all and there is a vast freedom not determined by the arrangement which results in variety of CF materials. The variety itself may produce different effects after nuclear reactions between components of the CF material (cf-matter).

Furthermore, the self-organization is not controlled by the macroscopic initial condition at all and therefore the resulting cf-matter is not controllable from outside.

### **(4) Unpredictability and Irreproducibility**

The cause-effect correspondence (relation) for a physical process is divided into three cases: (1) one-to-one effect between them, (2) one-to-several effects correspondence with probabilities, (3) one-to-none (or one-to-some effects) correspondence with by chance (or without any definite probability).

These cases are expressed by the predictability with (1) a quantitative probability with a definite value, (2) a qualitative probability with statistical values, and (3) zero probability for the effect.

Correspondingly, the cases are expressed experimentally by (1) a quantitative reproducibility, (2) a qualitative reproducibility, and (3) irreproducibility.

Here, in the CFP, are two causes of unpredictability (and therefore irreproducibility), the first is the stochastic processes in the formation of CF materials and the second is the self-organization of cf-matter in the CF materials including enough amount of

hydrogen isotopes in solids.

Destruction of the cf-matter is induced by the CFP itself that makes the components of the CF material shift from the optimal ones for the CFP and also destroys the structure of the CF material by heat and dynamical impact by particles produced by nuclear reactions. The destruction of the cf-matter is another cause of irreproducibility and unpredictability.

### 2.1.1 定性的再現性 **Qualitative Reproducibility** あるいは統計的再現性 **Statistical Reproducibility**

2.1 (4) で説明したように、理論的な文脈での **unpredictability** (予知不可能性) は、実験的には **Irreproducibility** (非再現性) に対応します。以下の議論では、この二つの概念は、ほぼ同じ内容を意味すると了解して用いることにします。

#### 2.1.1a 巨視的状态 **Macroscopic States** と微視的状态 **Microscopic States**

巨視的な状態を確定しても、原理的に微視的状态を確定できないことは、自由度の数の差を考えれば当然のことです。さらに、実験的に正確な状態を決定することができないことも、実験誤差を考えれば、当然のことです。

この事情は、非線形力学における予知不可能性との関連で、次のように表現されています：

*“Measurements could never be perfect. Scientists marching under Newton’s banner actually waved another flag that said something like this: Given an approximate knowledge of a system’s initial conditions and an understanding of natural law, one can calculate the approximate behavior of the system.”* [Gleick 1987 (p. 14-15)]

この表現は、非線形力学の特徴を考慮すると、次のように言い換えるべきであるというのが彼らの言い分です：

*“The often repeated statement, that given the initial conditions we know what a deterministic system will do far into the future, is false. Poincaré (1892) knew it was false, and we know it is false, in the following sense: given infinitesimally different starting points, we often end up with wildly different outcomes. Even with the simplest conceivable equations of motion, almost any non-linear system will exhibit chaotic behaviour. A familiar example is turbulence.”* [Cvitanovic 1989 (p. 3)]

つまり、Gleick が古典的な科学の常識として表現した“*one can calculate the approximate behavior of the system.*” という文章は、一般的には正しくなく、特別な系に限られることを認識すべきだということです。特別な場合が、Sec.1.1.1c で説明する負の Lyapunov exponent をもつ決定論的系なのです ( [Strogatz 1994 (Sec. 10.5)]).

### 2.1.1b 実験的に得られた結果の平均値

通常、実験的に得られた結果(測定値)は、微視的な反応の結果を測定する巨視的な装置において積算されることによってデータとして保存されます。その一例は、多数の分子が壁に衝突して与える力の平均値を記録する圧力計です。

前節で引用した Gleick の文章が妥当する状況では、結果の平均値は初期条件の微小な違いを平均化によって消去して正しい原因—結果関係を与えるでしょうから、初期条件が正確に決定できなくても実験結果には本質的な違いは生じないでしょう。このような状況では、原因—結果関係は再現性よく確かめることができます。

しかしながら、平均値ではなくて個々の事象が直接観測にかかる場合があります。

その一例を、放射性元素の場合に見てみましょう。Radium-226 ( $^{226}_{88}\text{Ra}$ )の $\alpha$ 崩壊は、統計的に記述され、時刻  $t$  における  $^{226}_{88}\text{Ra}$  の数  $N(t)$ は、時刻 0 における数  $N(0)$ と時定数  $\tau$  を使って、式(1.1)の形に表されます：

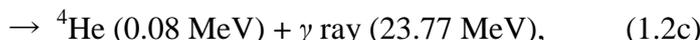
$$N(t) = N(0) \exp(-t / \tau), \quad (1.1)$$

しかし、個々の原子核  $^{226}_{88}\text{Ra}$  の崩壊は確率的に起こり、この式で記述することはできません。少量の  $^{226}_{88}\text{Ra}$  核からの $\alpha$ 線をガイガー・カウンターで計測したとすると、 $\alpha$ 線を示す信号の時間変化は式(1.1)のなだらかな曲線ではなく、ギザギザな折れ線状に表されることになるはずで

個々の信号が巨大な物理量(例えば過剰熱)を表す場合には、ギザギザな折れ線の各点が測定され、測定値の時間変化は急激に変化するでしょう。実際に、CFPで観測されているのが、そのような曲線であることは2.2.1節

で示す通りです。

定性的あるいは統計的再現性のもう一つの例は、問題の  $d - d$  融合反応で、Huizenga も彼の本で次のように論じています：



*The reactions (1.2a) and (1.2b) have been studied over a range of deuteron kinetic energies down to a few kilo-electron volts (keV) and the cross sections (production rates) for these two reactions have been found experimentally to be nearly equal (to within ten percent). Hence, the fusion of deuterium produces approximately equal yields of 2.45 million-electron-volts (MeV) neutrons (with an accompanying  ${}^3\text{He}$  atom) and 3.02-MeV protons (with an accompanying tritium atom). This near-equality of the neutron and proton branches (production rates) is expected also on the basis of theoretical arguments. The cross section (production rate) for reaction (1.2c) is several*

*orders of magnitude lower than reactions (1.2a) and (1.2b).*” [Huizenga 1992 (pp. 6 – 7)]. (Numbers of the equations are renumbered at citation.)

数 keV までの低エネルギー領域における 2 個の重陽子は Eqs. (1.2) で与えられる 3 個のチャンネルに、Huizenga の述べている確率にしたがって確率的に起こります。多数の反応の結果を平均すれば、得られる産物はその確率で表されますが、数個の反応しか観測されなかった場合には、結果を予測することは不可能です。この例も、ミクロな世界における事象が確率的に起こることを示しています。

Huizenga の文章が示す、真理のもう一つの面に注意しておきます。M. Fleischmann が、最初の論文で CFP の機構に関して次のような疑いを抱いていたことをわれわれは知っています：

*“The most surprising feature of our results however, is that reactions (v) and (vi) are only a small part of the overall reaction scheme and that the bulk of the energy release is due to an hitherto unknown nuclear process or processes (presumably again due to deuterons).”*[Fleischmann 1989]. (The reactions (v) and (vi) in this sentence correspond to reactions (1.2a) and (1.2b) written above in this paper.)

我々が注意したいのは、Huizenga と Fleischmann の、同じ実験事実に対する異なる反応です。Huizenga は実験事実と既成科学の枠組みの矛盾を指摘しているだけですが、Fleischmann は同じ矛盾から既成科学の枠組みにない something を予想しているのです。

我々が外界から受け取った信号に対してどのような反応を示すかという一般的な文脈で、Huizenga と Fleischmann の反応の差異を考えると、有名な中国の格言を思い出します[Great Learning (「大学」)];

*“When you are angry, you cannot be correct. When you are frightened, you cannot be correct; when there is something you desire, you cannot be correct; when there is something you are anxious about, you cannot be correct. When the mind is not present, we look, but do not see. We listen, but do not hear; we eat, but don't taste our food. This is the meaning of “the cultivation of the person lies in the correction of the mind.”*[Great Learning (9. The cultivation of the person lies in the correction of the mind.)].

「心焉（ここ）に在らざれば、視れども見えず、聴けども聞こえず、食らえども其の味を知らず。」

同じ事実に対する二人の科学者の見解の違いが生ずる原因は、彼らが何を考えているかにあることが明示されています：

*“when there is something you desire, you cannot be correct;”*

私見によれば、Huizenga は既存の枠組みに合わない事実を否定するに急で、その裏に隠されているだろう真実を探求する意欲を持たなかった、あるいは必

要を認めなかった、と言えます。

常温核融合現象(CFP)における事象(少なくとも中性子放出)が確率事象 stochastic event であることは、Fig. 2.1.1 に示した Gozzi et al. [Gozzi 1991] の優れた実験によって明らかにされています。

よく知られているように、Poisson 分布は一定の時間・空間間隔に生ずる独立事象の数の確率が離散確率分布することを示しています。例に出される物理現象では、放射性元素からの崩壊確率が有名で、前述の  $^{226}_{88}\text{Ra}$  の  $\alpha$  崩壊はその一例です。

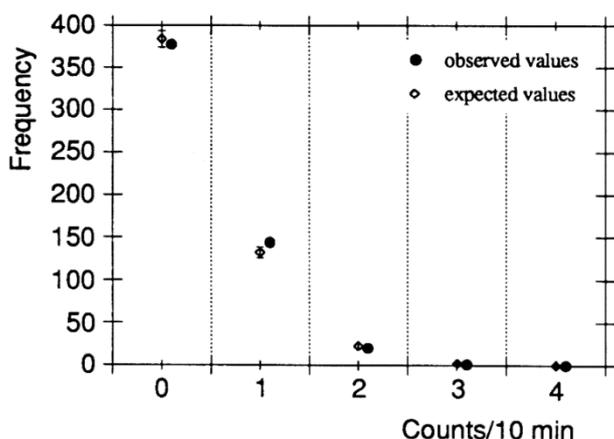


Fig. 2.1.1 Frequency count of neutrons as observed in 5421 intervals of ten minutes acquisitions and as expected in a Poisson distribution. The variability of the expected values obtained allowing the measured mean value to vary between  $\mu - \sigma = 0.32$  and  $\mu + \sigma = 0.37$  counts/10 min. is also reported [Gozzi 1991 (Fig. 13)].

### 2.1.1c 巨視的条件で制御できない非平衡マイクロ状態の自己組織化 Self-organization とカオスのふるまい

前論文[Kozima 2013]で論じたように、CFP に最適なマイクロ状態、例えばホスト元素と水素同位体の超格子 superlattice、が、非平衡な CF 物質中で自己組織化によって形成される可能性があります。この過程は、当然のことながら、非線形力学で記述されるものであり、巨視的には制御できません。この事情は、コンプレキシティ complexity に関連して、しばしば論じられており、次に圍繞するのはその一例です：

*“The constructive role of irreversibility is even more striking in far-from-equilibrium situations where non-equilibrium leads to new forms of coherence.”* [Prigogine 1996 (p. 26)]

*“Nonequilibrium leads to concepts such as – self-organization and dissipative structures, - - - .”* [Prigogine 1996 (p.27)]

*“Could unpredictability itself be measured? The answer to this question lay in a Russian conception, the Lyapunov exponent. This number provided a measure of just the topological qualities that corresponded to such concepts as unpredictability. The Lyapunov exponents in a system provided a way of measuring the conflicting effects of stretching, contracting, and folding in the phase space of an attractor. They gave a picture of all the properties of a system that lead to stability or instability. An exponent greater than zero meant stretching—nearby points would separate. An exponent smaller than zero meant contraction (stability). For a fixed-point attractor, all the Lyapunov exponents were negative, since the direction of pull was inward toward the final steady state. An attractor in the form of a periodic orbit had one exponent of exactly zero and other exponents that were negative. A strange attractor (chaos), it turned out, had to have at least one positive Lyapunov exponent.” [Gleick 1987 (p. 253)]*

系の安定性は、その系を記述する差分方程式（あるいは map）の Lyapunov exponent の符号で決められます。前論文[Kozima 2013]で論じたように、Feigenbaum’s theorem が示すことによると、一個の山を持つ形の再帰関数で記述される系はカオス的なふるまい、したがって予測不可能性 unpredictability すなわち非再現性 irreproducibility を示すこととなります。

### 2.1.2 非再現性についての DOE Reports

このシリーズの第一回(*From the History of CF Research (1)*)で取り上げたように、1989年と2004年に発表された *DOE Reports* [DOE 1989] と [DOE 2004] の CFP に対する批判は、科学の既存の領域で働いている科学者が CFP の領域の研究成果を真剣に検討してくれたという意味で、貴重なものであることは事実です。しかし、COE の Reviews には、彼らなりの制約があることも事実で、それは上に述べた Huizenga と Fleischmann の立場の違いによる視点の制約にも通じるものです。以下に、この論文の主題である再現性に関連した DOE の Reviewers の負った制約を考えてみようと思います。

#### 2.1.2a 理論的予想における測定値の整合性

まず、DOE 報告から、測定値が整合性を書いているということを指摘した文章を引用します。これらの整合性が、既存の理論的枠組みの中での議論であることは、度々論じてきたところです：

*“Those who claim excess heat do not find commensurate quantities of fusion products, such as neutrons or tritium that should be by far the most sensitive signatures of fusion. Some laboratories have reported excess tritium. However, in these cases, no*

*secondary or other primary 3 nuclear particles are found, ruling out the known D+D reaction as the source of tritium.” [DOE1989 (Summary)]*

*“Neutrons near background levels have been reported in some D<sub>2</sub>O electrolysis and pressurized D<sub>2</sub> gas experiments, but at levels 10<sup>12</sup> below the amounts required to explain the experiments claiming excess heat.” [DOE1989 (Summary)]*

### **2.1.2b 再現性と予測可能性 Reproducibility or Predictability**

理論的な文脈での予測不可能性は、実験的には非再現性と同様な意味であることを注意して、以下の引用文を読んでください：

*“Some experiments have reported the production of tritium with electrolytic cells. The experiments in which excess tritium is reported have not been reproducible by other groups. These measurements are also inconsistent with the measured neutrons on the same sample. Most of the experiments to date report no production of excess tritium. Additional investigations are desirable to clarify the origin of the excess tritium that is occasionally observed.” [DOE1989 (Summary)]*

*“- - they have been unable (a) to completely solve the nagging problem of the non-reproducibility (irreproducibility) of the experimental results, or (b) to elucidate and/or nail down all the important parameters involved in the proposed cold-fusion phenomena (plural nuclear mechanisms have been proposed) or (c) even to convince the broader scientific community that cold fusion is real.” {DOE2004 (Reviewer #7)}*

*“In a general summary of the calorimetric results, the observation of sudden and prolonged temperature excursions (bursts of excess heat), has been made a sufficient number of times that, even if not totally reproducible, still have not been explained in terms of conventional chemistry or electrochemistry (a conclusion also made in the 1989 ERAB report). However the systems are sufficiently complicated, the measurement sufficiently difficult, and the effects sufficiently small, that it is difficult to conclude from these effects alone that nuclear processes are involved. Even with all of the careful work that has been done on electrochemical cells and calorimetry, the system is still not under experimental control, in the sense that one knows exactly the materials needed and the operating conditions to get the same results, even semi-quantitatively, every time.” [DOE2004 (Reviewer #10)]*

*“b) Experiments involving excess power/heat. More careful experiments have been*

*done in recent years (e.g. SRI work). There seem to be increasing evidence for the production of excess heat, even though the reason is totally unknown. Reproducibility has been improved, but it still has not reached a satisfactory level. Yes, it is likely that an unknown process (in materials physics or in nuclear physics) is responsible. However, the link to nuclear reaction is still not strong enough at the present time.”* [DOE2004 (Reviewer #12)]

*“In spite of the lack of reproducibility and predictability, positive observations have been made a number of times and by several different groups under what seem to be credible experimental conditions.”* [DOE2004 (Reviewer #13)]

#### *“2) Reproducibility*

*The lack of reproducibility continues to be a serious problem. None of the important phenomena can be duplicated reliably. This has made it impossible to obtain a quantitative understanding of what is taking place.* [DOE2004 (Reviewer #14)]

以上に引用した *DOE Reports* の再現性と整合性に関する批判は、すでに論じたように、既成の理論の枠組みの中での、CFP の実験事実に対する批判であることを注意すれば、それ相応の価値があることは事実です。彼らの批判にたいして、CFP の研究者は真摯な対応をしてきたのですが、彼らの批判の基準が既成の理論的枠組みである点をどのように受け止めるか、ということをはっきりと認識しておく必要があります。

### **2.1.3 非再現性の批判にたいする CFP 研究者の反応**

DOE Reports で批判された事項にたいして、CFP 研究者は真摯に対応しており、実験方法も批判にこたえるよう改良が重ねられてきました。DOE Report 2004 では、過剰熱測定における実験方法の改善が評価されていることは、前に述べました。ここでは、再現性を表題にした McKubre et al.の論文を引用して、研究者の対応を示します：

*“An apparent irreproducibility in the production of an, as yet, anomalous excess power from Pd cathodes electrochemically loaded with D can be associated with irreproducibility in the attainment of several necessary starting conditions. Of these, the threshold loading (D/Pd atomic ratio) has received the most attention. A statistical analysis is presented of the results of 176 experiments intended to test the means of establishing reproducible control over D/Pd loading. A set of variables are examined, and procedures identified which permit the attainment of loading above the threshold*

*necessary for excess heat production.*” [McKubre 1995 (Introduction)]

この文章の中で McKubre et al. が言っている “*irreproducibility in the attainment of several necessary starting conditions*” は、Sec. 2.1.1a で引用した Gleick の文章にもある誤差や Sec. 2.1.1c で述べた微視的状态の制御不可能性のことであると認識しなければなりません。

## 2.2 常温核融合現象(CFP)における定性的再現性

CFP の実験で測定結果が定量的に再現できなくても、次節 2.2.1 で示すように、定性的に等しい、あるいは統計的に同じ実験結果を得ることはできています。つまり、同じ巨視的条件のもとでおこなった CFP の実験の結果は、ゼロから最大値の間に分布するでしょうが、その平均値はゼロでないある値を与えます。

### 2.2.1 実験的証拠

同じ巨視的条件のもとで行われた CFP 実験で、定性的な再現性を示す結果が得られた例は、数えきれないくらい多数存在します。この節の終わりに、主に 1996 年 (ICCF6) までのデータのリストを掲げて、その証拠としましょう。(それ以降の多数のデータは省略します)

“(b) *Enthalpy generation can exceed  $10 \text{ W/cm}^3$  of the palladium electrode; this is maintained for experiment times in excess of 120 h, during which typically heat in excess of  $4 \text{ MJ/cm}^3$  of electrode volume was liberated.*” [Fleischmann 1989 (p. 304 – 305)].

この文章は、Fleischmann et al. が Table 1 に表示したデータは、個々の時刻の実験値ではなく、実験値の時間平均であることをしめしており、上に述べた意味での定性的再現性を前提としていると言えるでしょう。

Figs. 2.2.1, 2.2.2, および 2.2.3 は、McKubre et al. のデータで、同じ巨視的条件のもとで過剰熱発生が定性的再現性を示しています。

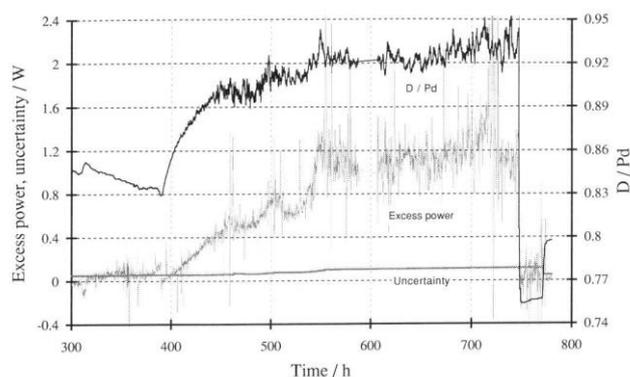


Fig. 2.2.1 Variation of excess power, uncertainty and loading [McKubre 1993 (Fig. 5)]. Shows temporal variations of the loading ratio  $D/Pd$  and the excess power. The former is out of control by macroscopic experimental setup and the latter is the effect caused by the cf-matter constructed in the CF material ( $PdD_x$ ).

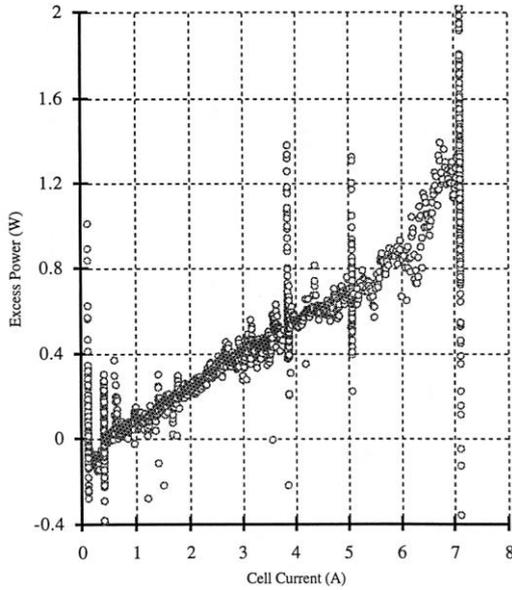


Fig. 2.2.2. Variation of excess power with cell current [McKubre 1993 (Fig. 6)]. The excess power is qualitatively reproduced for a definite cell current.

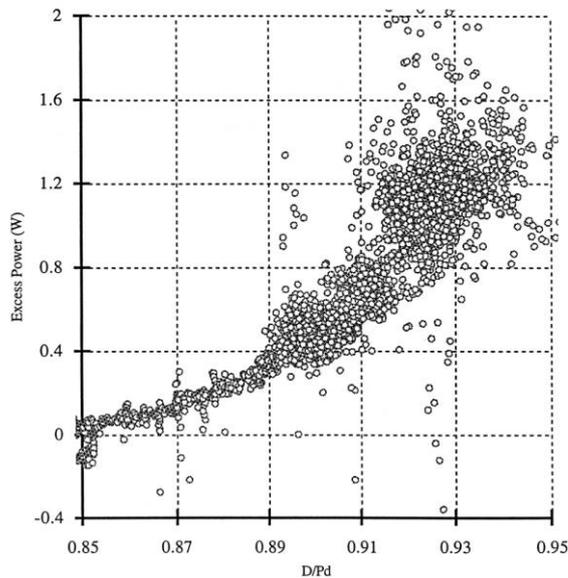


Fig. 2.2.3. Variation of excess power with loading ratio [McKubre 1993 (Fig. 7)]. The excess power is qualitatively reproduced for a definite value of  $D/Pd$  ratio.

Figs. 2.2.4 と 2.2.5 は、同じように過剰熱が時間的に変化する様子を示しています。

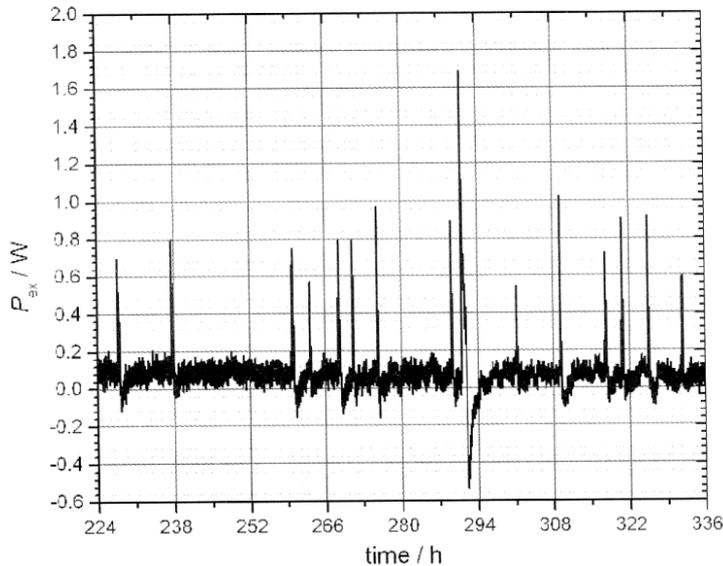


Fig. 2.2.4 Excess Power pulses and bursts during a 112 hour period of an experiment (061026) which lasted 14 days as a whole [Kozima 2008 (Fig. 2)]. The excess power is qualitatively reproducible but uncontrollable as shown in this and the next figures.

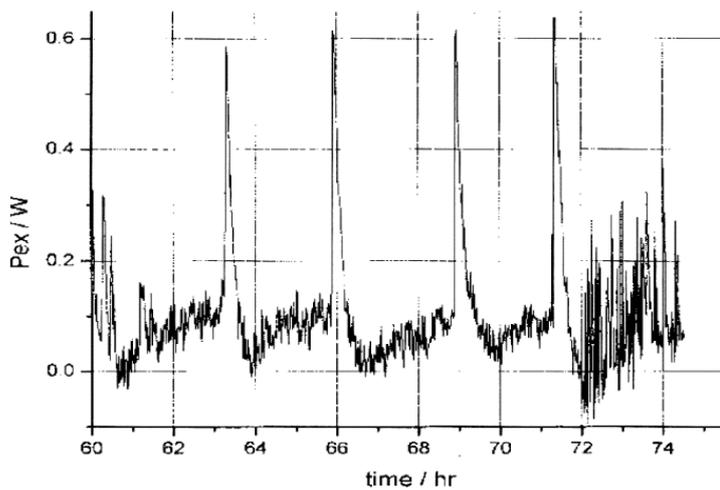


Fig. 2.2.5. Excess power pulses during a 14 hour period of an experiment (070108) which lasted 12 days as a whole [Kozima 2008 (Fig. 3)].

Figs. 2.2.6 と 2.2.7 は、トリチウム発生が時間的に変化する様子を示しており、やはり定性的再現性の例と考えられます。

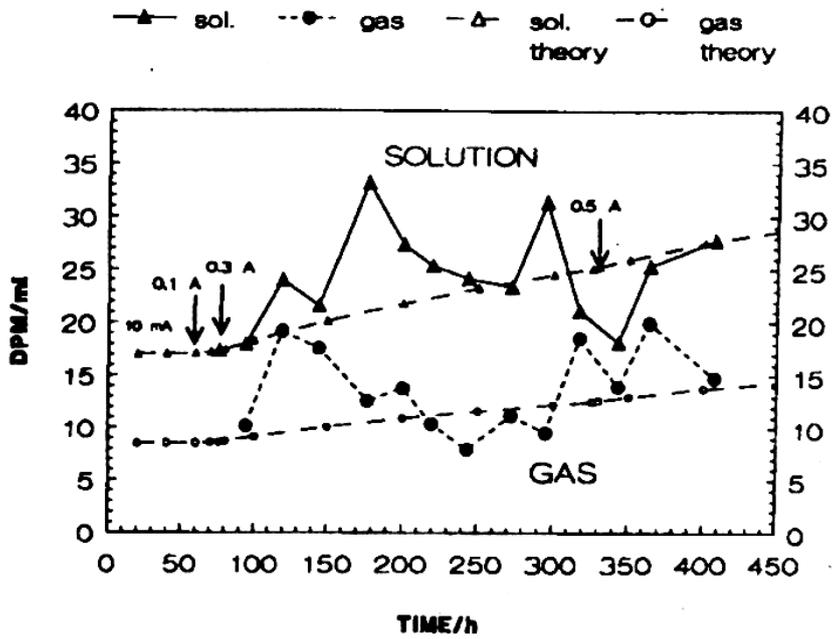


Fig. 2.2.6. DPM (disintegrations per minute)/ml of tritium vs. time (hour) in the liquid and gas phases during 2 weeks of electrolysis in 0.05 M PdCl<sub>2</sub>/0.3 M LiCl; dashed lines – theoretical values. [Bockris 1993 (Fig. 6)]

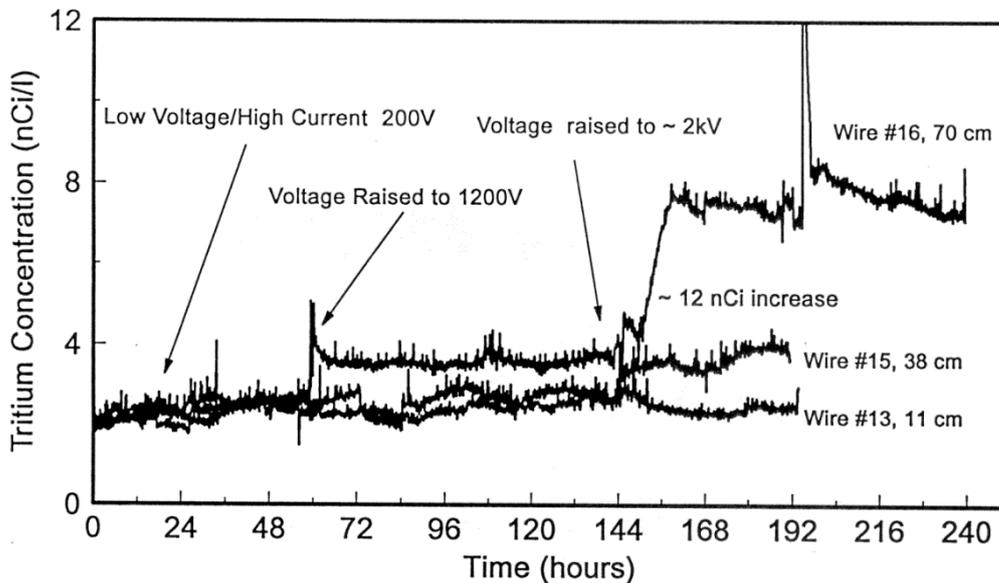


Fig. 2.2.7 Tritium evolution (nCi/l) vs. time from three power wire cells. The conditions that produced the large, sudden increase in tritium level in wire cell 16 have not been reproduced. [Tuggle 1994 (Fig. 5)]

Fig. 2.2.7 は Tuggle et al. の実験の中で、粉末線条 powder wires を用いた場合の最大値を与えるケースで、軌跡 track にアークができた場合のものです。この場合のトリチウム発生は  $\sim 5$  nCi/h で、異常に高い値を示しました。

### References for Subsection 2.2.1

[Bertalot 1995 (Figs. 2 and 3)], [Bockris 1993 (Fig. 6)], [Celani 1993 (Figs. 7 – 9)], [Cellucci 1996 (Figs. 3 – 5)], [Claytor 1991 (Fig. 8)], [Dufour 1995 (Fig. 7)], [Fleischmann 1989 (Table 1 and its explanation), 1993 (Fig. 6), 1995a (Figs. 4 and 8), 1995b (Fig. 5)], [Gozzi 1991 (Fig. 5)], [Iwamura 1994 (Figs. 2, 5)], [McKubre 1991 (Figs. 7, 8, 14), 1993 (Figs. 5 – 7), 1995 (Figs. 1 – 4)], [Mengoli 1991 (Figs. 1 and 3)], [Menlove 1991 (Fig. 5)], [Miles 1996 (Figs. 1 – 5)], [Miyamaru 1994 (Fig. 5)], [Kozima 2008 (Figs. 2 and 3)], [Numata 1991 (Fig. 5)], [Okamoto 1994 (Figs. 6, 8)], [Ota 1993 (Fig. 1)], [Pons 1994 (Figs. 4, 7, 14)], [Sevilla 1993 (Fig. 3)], [Shyam 1995 (Figs. 3 and 5)], [Szpak 1993 (Fig. 1)], [Takahashi 1991 (Fig. 5), 1993 (Figs. 4 – 7)], [Tazima 1991 (Fig. 2 – 4)], [Tuggle 1994 (Figs. 4, 5, 6, 7)],

### 2.2.2 理論的説明 Theoretical Justification

前節 2.2.1 でいくつかの例で示したように、CFP は定性的再現性を示す現象であり、その時間変化を次節 2.3 の Fig. 2.3.1 と比較すると、複雑性 complexity の特徴をもっていることが分かります。

しかしながら、CFP の起こる場である CF 物質は非常に複雑な組成をもっており、非線形力学を適用して数学的に取り扱うことは今のところ不可能です。したがって、上に述べたように実験データと非線形力学の結果の対比による類推に頼らざるをえないのが現状です。

我々の取り組みは、現象論的なアプローチで得られた CFP に関する知見を、もっとも単純な非線形力学系に適用して少しでも CFP の機構を理解しようとするものでした[Kozima 2012, 2013]。改めて、われわれのアプローチを検討してみましょう。

#### 2.2.2a CFP にたいする十分条件を備えた CF 物質の形成

常温核融合現象 CFP のために最も重要な条件は、CF 物質内に最適な構造(e.g. 超格子 PdD あるいは NiH をつくること)であろうと思われます。そのために考えられたのが、Ni の場合には局所的な水素化(表面領域などでの NiH の形成)あるいは Pd の場合には局所的な重水素化(表面領域などでの PdD の形成)で、そのためには複雑性 complexity における自己形成 self-organization が働くのではないかと思います[Kozima 2012, 2013].

### 2.2.2b CFP の核反応による CF 物質の変質

自己形成などの機構で作られた CFP のための最適状態は、CFP の原因となる核反応によって環境が変化し、時間の経過とともに最適状態は変質します。その変化は、場合によって CFP の正のフィードバック **positive feedback** をもたらし、多くの場合には負のフィードバック **negative feedback** となって CFP を阻害する方向に働くでしょう。

前論文では、TNCF モデルのパラメータ  $n_n$  を変数としたロジステック差分方程式を使って、正のフィードバックの可能性を説明する試みを説明しました。CF 反応が CFP の維持に好都合な方向の  $n_n$  の変化を引き起こすときには、正のフィードバックとなるわけです。

しかし、その反対に、 $n_n$  の変化が CFP にとって不都合な方向に起こるときには、現象は停止させられます。核反応に伴う CF 物質の格子定数、温度、組成などが起こると、CFP のための必要条件は満たされなくなり、反応は停止します。多くの実験が短寿命で終わる原因は、このように理解できます。

## 2.3 複雑性 Complexity

序論でも述べたように、系の構成要素の間に非線形相互作用のある場合には、系の動力学を考える際に複雑性 **complexity** を考慮することは常識に属することとてよいでしょう。したがって、非線形力学の対象である CF 物質で起こるいろいろな事象が、統計的な再現性を示すことを前提にして CFP を取り扱うことが必要になります。

前節 2.2.2a でも説明した、CFP の最適条件の自己形成 **self-organization** はその一つの例です[Kozima 2013]。規則超格子の自己形成によって NiH, PdD, and HC<sub>6</sub> (or HC<sub>8</sub>)などの超格子ができ、CF 物質に中性子バンドができます[Kozima 2013 (Sec. 3.3)]。中性子バンドに中性子が溜まると c f 媒質 **cf-matter** が生じ、TNCF モデルで仮定した密度  $n_n$  の捕獲中性子 **trapped neutron** が生まれる、というのが TNCF モデルの筋書きでした。

CFP の実験事実に関連した、複雑性 **complexity** のもう一つの概念は、分岐およびカオスで表される事象のカオス的振る舞いです[Kozima 2012 (Sec. 2.3)]。物理系のカオス的振る舞いの一例は、Fig. 2.3.1 に示すレーザー発振の時間変化です。

この図は、放射されたレーザー光の強度の時間変化を示しています。一番下の図では、レーザーは周期的に発振しています。系の制御パラメータ（この場合はレーザー空洞内の鏡の傾き）を変えると、断続 **intermittency** への分岐

bifurcation が起こります。図 2.3.1 の図を上に向かっていくと、カオス的なバーストが頻繁に起こるようになることが分かります[Strogatz 1996 (Fig. 10.4.5)]。

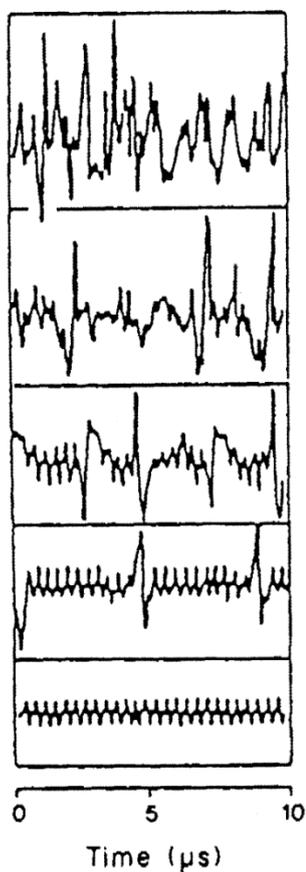


Fig. 2.3.1 An experimental example of the intermittency rout to chaos in a laser.

Fig. 2.3.1 の図を Sec. 2.2.1 に示した CFP の諸事象の図と比較すると、その類似性に驚くでしょう。実験的に得られた CFP のデータの不規則性を、単純に装置や設定の問題にして、そこに示されている内容を見落とすような誤りを犯してはならないことが、Fig. 2.3.1 との比較で明らかになります。

前論文で、モデルのパラメータ  $n_n$  をロジステック方程式のパラメータ  $\lambda$  と見立てて Feigenbaum の定理を CFP の諸事象に適用する可能性を考えました [Kozima 2012 (Sec. 3.2)]。この取り扱いが的外れでなかったことは、次に引用する Strogatz の文章[Strogatz 1994]を読めば理解できるでしょう：

*“How can the theory work, given that it includes none of the physics of real systems like convecting fluids or electronic circuits? And real systems often have tremendously many degrees of freedom—how can all that complexity be captured by a one-dimensional map? Finally, real systems evolve in continuous time, so how can a*

*theory based on discrete-time maps work so well?” [Strogatz 1994 (Section 10.6)]*

*“Now we can see why certain physical systems are governed by Feigenbaum’s universality theory—if the system’s Lorenz map is nearly one-dimensional and unimodal, then the theory applies. This is certainly the case for the Rössler system, and probably for Libchaber’s convecting mercury. But not all systems have one-dimensional Lorenz maps. For the Lorenz map to be almost one-dimensional, the strange attractor has to be very flat, i.e., only slightly more than two-dimensional. This requires that the system be highly dissipative; only two or three degrees of freedom are truly active, and the rest follow along slavishly. (Incidentally, that’s another reason why Libchaber et al. (1982) applied a magnetic field; it increases the damping in the system, and thereby favors a low-dimensional brand of chaos.)” [Strogatz 1994 (Section 10.6)]*

この問題は、このシリーズの次回(“From the History of CF Research (10)”)でもう一度考えることにしようと思います。

## 2.4 結論

この論文でその一部を取り上げた CFP の種々相は、その複雑さのために、CFP の科学を理解することを困難にし、20 世紀までの科学の発達で使われた、線形系に適用できる方式によって定式化することをほとんど不可能にしています。

我々は、この複雑な現象を探求する方法として、現象論的なモデルをつかうことを試みました[Kozima 1994, 1998, 2006, 2014]。

これまでの努力の結果、CFP の科学のいくつかの重要な面を明らかにすることができたと思っています[Kozima 1998, 2006, 2014]。

その一つは、この論文で注意した(Sec. 2.1.1b)、Gozzi et al. による中性子パルスの Poisson 分布の測定が中性子放射が独立事象であることを示していることです。この事実は、Sec. 2.2.1 で示した分岐 bifurcation とカオス chaos が示す複雑性 complexity とは別の CFP の面を現わしているようです。

常温核融合現象 CFP における法則性を、我々は三つの法則の形に表しましたが[Kozima 2011]、それらは複雑性と関連した CFP の一面を表していることは Sec. 2.1 で Shuster の仕事[Shuster 1984]との関連で簡単に触れたことです。

以上の簡単な概観で明らかにしたように、この四半世紀におよぶ CFP の研究成果は、CF 物質中の中性子の物理学と密接な関係があることは否定できないでしょう。逆に、CF 物質中の中性子の物理学は、非線形力学によって支配されているので、CFP は複雑性 complexity で取り扱わなければならないとも言えるでしょう。時に議論の的になる CFP の再現性の問題は、CFP の特性を考えれば、定性的(あるいは統計的)再現性という考えで説明できることなのです。

このシリーズ“From the History of Cold Fusion Research”で概観した CFP の特性は、すでに本や論文(e.g. [Kozima 1998, 2006, 2014])で論じたことをより新しい立場から見直したものであると言えます。CFP は核物理学や凝集体物理学と密接に関連した現象で、二つの領域の境界領域を埋める役割を果たす存在です。これらの研究領域の研究者が CFP の事実注目して、各領域での新しい研究テーマを開拓してくれることを願っています。

## 参考文献 References

- [Bertalot 1995] L. Bertalot, A. De Ninno, F. De Marco, A. La Barbera, F. Scaramuzzi and V. Violante, “ Power Excess Production in Electrolysis Experiments at ENCA Frascati,” *Proc. ICCF5*, pp. 34 – 40 (1993), IMRA Europe, 1995.
- [Bockris 1993] J. O’M. Bockris, C.-C. Chien, D. Hodko and Z. Minevski, “Tritium and Helium Production in Palladium Electrodes and the Fugacity of Deuterium Therein,” *Proc. ICCF3*, pp. 231 – 240 (1993), ISBN: 4- 946443- 12- 6.
- [Celani 1993] F. Celani, A. Spallone, P. Tripodi and A. Nuvoli, “Measurements of Excess Heat and Tritium during Self-Biased Pulsed Electrolysis of Pd-D<sub>2</sub>O,” *Proc. ICCF3*, pp. 93 – 105 (1993), ISBN: 4-946443-12-6.
- [Cellucci 1996] F. Cellucci, P.L. Cignini, G. Gigli, D. Gozzi, M. Tomellini, E. Cisbani, S. Frullani, F. Garibaldi, M. Jodice and G.M. Urciuoli, “X-ray, Heat Excess and <sup>4</sup>He in the Electrochemical Confinement of Deuterium in Palladium,” *Proc. ICCF6*, pp. 3 – 11 (1996), New Energy and Industrial Technology Development Organization, 1996.
- [Claytor 1991] T.N. Claytor, D.G. Tuggle and H.O. Menlove, “Tritium Generation and Neutron Measurements in Pd-Si under High Deuterium Gas Pressure,” *Proc. ICCF2*, pp. 395 – 408 (1991), ISBN 88-7794-045-X.
- [Cvitanovic 1989] P. Cvitanović, *Universality in Chaos*, 2<sup>nd</sup> edition, Adam Hilger, Bristol, 1989, ISBN 0-85274-259-2.
- [DOE 1989] *Cold Fusion Research*, November 1989— A Report of the Energy Research Advisory Board to the United States Department of Energy—, DOE/S-0071 (August, 1989) and DOE/S--0073, DE90, 005611. This report is posted at the *New Energy Times* website;  
<http://newenergytimes.com/v2/government/DOE/DOE.shtml>
- [DOE 2004] “*Report of the Review of Low Energy Nuclear Reactions.*”  
[http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News\\_Releases/DOE-SC/2004/low\\_energy/CF\\_Final\\_120104.pdf](http://www.science.doe.gov/Sub/Newsroom/News_Releases/DOE-SC/2004/low_energy/CF_Final_120104.pdf). This report is posted at the *New Energy Times* website:  
<http://newenergytimes.com/v2/government/DOE2004/7Papers.shtml>
- [Dufour 1995] J. Dufour, J. Foos and J.P. Millot, “Excess Energy in the System

- Palladium/Hydrogen Isotopes; Measurement of the Excess Energy per Atom Hydrogen,” *Proc. ICCF5*, pp. 495 – 504 (1993), IMRA Europe, 1995.
- [Fleischmann 1989] M. Fleischmann, S. Pons and M. Hawkins, "Electrochemically induced Nuclear Fusion of Deuterium," *J. Electroanal. Chem.*, **261**, 301 – 308 (1989).
- [Fleischmann 1993] M. Fleischmann and S. Pons, "Calorimetry of the Pd/D<sub>2</sub>O System: From Simplicity via Complications to Simplicity," *Proc. ICCF3*, pp. 47 - 66 (1993), ISBN: 4-946443-12-6.
- [Fleischmann 1995a] M. Fleischmann, “More about Positive Feedback; more about Boiling,” *Proc. ICCF5*, pp. 140 – 151 (1993), IMRA Europe, 1995.
- [Fleischmann 1995b] M. Fleischmann, “The Experimenter’s Regress,” *Proc. ICCF5*, pp. 152 – 161 (1993), IMRA Europe, 1995.
- [Gozzi 1991] D. Gozzi, P.L. Cignini, M. Tomellini, S. Frullani, F. Garibaldi, F. Ghio, M. Jodice and G.M. Urciuoli, “Multicell Experiments for Searching Time-related Events in Cold Fusion,” *Proc. ICCF2*, pp. 21 – 47 (1991), ISBN 88-7794-045-X.
- [Gleick 1987] J. Gleick, *Chaos – Making a New Science*, Penguin Books, ISBN 0-14-00.9250-1.
- [Great Learning] *The Great Learning*, Translated by A. Charles Muller);  
<http://www.acmuller.net/con-dao/greatlearning.html>
- [Huizenga 1992] J.R. Huizenga, *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century*, University of Rochester Press, 1992, ISBN 1-878822-07-1.
- [Iwamura 1994] Y. Iwamura, T. Itoh and I. Toyoda, “Observation of Anomalous Nuclear Effects in D<sub>2</sub>-Pd System,” *Trans. Fusion Technol.*, **26**, pp. 160 – 164 (1994), ISSN 0748-1896.
- [Kozima 1994] H. Kozima, “Trapped Neutron Catalyzed Fusion of Deuterons and Protons in Inhomogeneous Solids,” *Trans. Fusion Technol.* **26**, 508 – 515 (1994). ISSN 0748-1896.
- [Kozima 1998] H. Kozima, *Discovery of the Cold Fusion Phenomenon* (Ohtake Shuppan Inc., 1998), ISBN 4-87186-044-2.
- [Kozima 2005] H. Kozima, “CF-Matter and the Cold Fusion Phenomenon,” *Proc. ICCF10*, pp. 919 – 928 (2005), ISBN 981-256-564-7.
- [Kozima 2006] H. Kozima, *The Science of the Cold Fusion Phenomenon*, Elsevier Science, 2006. ISBN-10: 0-08-045110-1.
- [Kozima 2008] H. Kozima, W.-S. Zhang and J. Dash, “Precision Measurement of Excess Energy in Electrolytic System Pd/D/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Inverse-Power Distribution of Energy Pulses vs. Excess Energy,” *Proc. ICCF13* (June 25 – July 1, 2007, Dagomys, Sochi, Russia) pp. 348 – 358 (2008), ISBN 978-5-93271-428-7. And also *Reports of*

CFRL (Cold Fusion Research Laboratory), **11-5**, pp. 1 – 14 (January, 2011);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2011] H. Kozima, “Three Laws in the Cold Fusion Phenomenon and Their Physical Meaning,” *Proc. JCF12*, pp. 101 – 114 (2012), ISSN 2187-2260. And also *Reports of CFRL (Cold Fusion Research Laboratory) 11-6*, 1 – 14 (April, 2011);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2012] H. Kozima, “Cold Fusion Phenomenon in Open, Non- equilibrium, Multi-component Systems,” *Reports of CFRL (Cold Fusion Research Laboratory) 12-1*, 1 – 14 (January, 2012);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2013] H. Kozima, “Cold Fusion Phenomenon in Open, Nonequilibrium, Multi-component Systems – Self-organization of Optimum Structure,” *Proc. JCF13 13-19*, pp. 134 - 157 (2013), ISSN 2187-2260. And also *Reports of CFRL (Cold Fusion Research Laboratory) 13-3*, 1 – 24 (March, 2013);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[Kozima 2014] H. Kozima, “The Cold Fusion Phenomenon – What is It?” *Proc. JCF14: 14-16*, pp. 203 – 230 (2014) . ISSN 2187-2260. And also *Reports of CFRL (Cold Fusion Research Laboratory) 14-4*, 1 – 29 (March, 2014);

<http://www.geocities.jp/hjrfq930/Papers/paperr/paperr.html>

[McKubre 1991] M.C.H. McKubre, R. Rocha-Filho, S.I. Smedley, F.L. Tanzella, S. Crouch-Baker, T.O. Passell and J. Santucci, "Isothermal Flow Calorimetric Investigation of the D/Pd System," *Proc. ICCF2*, pp. 419 – 443 (1991), ISBN 88-7794-045-X.

[McKubre 1993] M.C.H. McKubre, S. Crouch-Baker, A.M. Riley, S.I. Smedley and F.L. Tanzella, "Excess Power Observed in Electrochemical Studies of the D/Pd System," *Proc. ICCF3*, pp. 5 - 19 (1993), ISBN: 4-946443-12-6.

[McKubre 1995] M.C.H. McKubre, S. Crouch-Baker, A.K. Hauser, S.I. Smedley, F.L. Tanzella, M. Williams and S.S. Wing, "Concerning Reproducibility of Excess Power Production," *Proc. ICCF5*, pp. 17 – 33 (1993), IMRA Europe, 1995.

[Mengoli 1991] G. Mengoli and M. Fabrizio, “Tritium and Neutron Emission in Conventional and Contact Glow Discharge Electrolyses of D<sub>2</sub>O at Pd and Ti Cathodes,” *Proc. ICCF2*, pp. 157 – 162 (1991), ISBN 88-7794-045-X.

[Menlove 1991] H.O. Menlove, M.A. Paciotti, T.N. Claytor and D.G. Tuggle, “Low-background Measurements of Neutron Emission from Ti Metal in Pressurized Deuterium Gas,” *Proc. ICCF2*, pp. 385 – 394 (1991), ISBN 88-7794-045-X.

[Miles 1996] M.H. Miles and K.B. Johnson, “Heat and Helium Measurement Using

- Palladium and Palladium Alloys in Heavy Water,” *Proc. ICCF6*, pp. 20 – 28 (1996), New Energy and Industrial Technology Development Organization, 1996.
- [Miyamaru 1994] H. Miyamaru, Y. Chimi, T. Inokuchi and A. Takahashi, “Search for Nuclear Products of Cold Fusion,” *Trans. Fusion Technol.*, 26, pp. 151 – 155 (1994), ISSN 0748-1896.
- [Numata 1991] H. Numata, R. Takagi and I. Ohno, “Neutron Emission and Surface Observation during a Long-Term Evolution of Deuterium on Pd in 0.1 LiOD,” *Proc. ICCF2*, pp. 71 – 80 (1991), ISBN 88-7794-045-X.
- [Okamoto 1994] M. Okamoto, T. Kusunoki, Y. Yoshinaga, H. Ogawa and M. Aida, “Excess Heat Generation, Neutron Emission and Cell Voltage Change in D<sub>2</sub>O LiOD-Pd Systems,” *Trans. Fusion Technol.*, 26, pp. 176 – 179 (1994), ISSN 0748-1896.
- [Ota 1993] K. Ota, M. Kuratsuka, K. Ando, Y. Iida, H. Yoshitake and N. Kamiya, “Heat Production at the Heavy Water Electrolysis using Mechanically Treated Pd Cathode,” *Proc. ICCF3*, pp. 71 - 74, (1993), ISBN: 4-946443-12-6.
- [Pons 1994] S. Pons and M. Fleischmann, “Heat after Death,” *Trans. Fusion Technol.*, 26, pp. 87 – 95 (1994), ISSN 0748-1896.
- [Prigogine 1996] I. Prigogine, *The End of Certainty – Time, Chaos, and the New Laws of Nature*, The Free Press, New York, ISBN 0-684-83705-6.
- [Schuster 1984] H.G. Schuster, *Deterministic Chaos – An Introduction*, Physic-Verlag, 1984, ISBN 3-87664-101-2
- [Sevilla 1993] J. Sevilla, B. Escarpizo, F. Fernandez, F. Cuevas and C. Sanchez, “Time-Evolution of Tritium Concentration in the Electrolyte of Prolonged Cold Fusion Experiments and its Relation to the Ti Cathode Surface Treatment,” *Proc. ICCF3*, pp. 507 – 510 (1993), ISBN: 4-946443-12-6.
- [Shyam 1995] A. Shyam, M. Srinivasan, T.C. Kaushik and L.V. Kulkarni, “Observation of High Multiplicity Bursts of Neutrons during Electrolysis of Heavy Water with Palladium Cathode using the Dad-Time Filtering Technique,” *Proc. ICCF5*, pp. 181 – 187 (1993), IMRA Europe, 1995.
- [Strogatz 1994] S.H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Westview Press, 1994, ISBN-13 978-0-7382-0453-6
- [Szpak 1993] S. Szpak and P.A. Mosier-Boss, J.J. Smith, “Comments on Methodology of Excess Tritium Determination,” *Proc. ICCF3*, pp. 515 – 518 (1993), ISBN: 4-946443-12-6.
- [Takahashi 1991] A. Takahashi, T. Iida, T. Takeuchi, A. Mega, S. Yoshida and M. Watanabe, “Neutron Spectra and Controllability by PdD/Electrolysis Cell with Low-High Current Pulse Operation,” *Proc. ICCF2*, pp. 93 – 98 (1991), ISBN

88-7794-045-X.

[Takahashi 1993] A. Takahashi, A. Mega, T. Takeuchi, H. Miyamaru and T. Iida, "Anomalous Excess Heat by D<sub>2</sub>O/Pd Cell under L-H Mode Electrolysis," *Proc. ICCF3*, pp. 79 – 92, (1993), ISBN: 4-946443-12-6.

[Tazima 1991] T. Tazima, K. Isii and H. Ikegami, "Time-Correlated Neutron Detection from Deuterium Loaded Palladium," *Proc. ICCF2*, pp. 157 – 162 (1991), ISBN 88-7794-045-X.

[Tuggle 1994] D.G. Tuggle, T.N. Claytor and S.F. Taylor, "Tritium Evolution from Various Morphologies of Palladium," *Trans. Fusion Technol.*, **26**, pp. 221 – 231 (1994), ISSN 0748-1896.