

放射線化学の進歩と原子力を含む諸科学・技術および  
社会における重要な役割

東京工業大学名誉教授 旗野 嘉彦

In my talk entitled “Charged Particle and Photon Interactions with Matter” as the plenary talk of The International Workshop on “Radiation Effects in Nuclear Technology”, Tokyo, March 9-10<sup>1)</sup>, I introduced briefly our new book with the same title<sup>2)</sup> to show recent advances in radiation chemistry and referred, according to the major topics to be discussed in the workshop, some chapters in it with a particular emphasis placed on an important role of radiation chemistry in nuclear technology, which has been disregarded, unexpectedly, by most people themselves in nuclear technology and atomic energy research & development communities.

**Keywords:** recent advances in radiation chemistry, application to nuclear technology

## 1 はじめに

本年3月9-10日に開催された国際ワークショップ「原子力工学における放射線効果」、東京、東大院工・勝村庸介教授主催において、「荷電粒子およびフォトンと物質の相互作用」と題して全体講演<sup>1)</sup>を行った。

この講演題目と同名の永年にわたる国際 Book Project (後述)によって、所期の目的どおり、本年1月に本(後編)<sup>2)</sup>を出版したので、「ワークショップ」では、その概要を紹介して放射線化学の基礎・応用における進歩と将来展望について述べた。また、「ワークショップ」の主題については、「本」の中にこの主題に該当する Chapter が勝村教授ほかによって寄稿されていることから、これ

を中心に引用して説明し、さらに本稿著者自身の原子力機構在任中の経験に基づいたコメントを加えた。「ワークショップ」の主題に該当する研究内容は、意外にも原子力工学ならびに原子力研究開発コミュニティにおいて軽視されてきた事実(具体的な内容については後述)があることから、これを指摘し、これらの分野・コミュニティの将来へ向けて強い警鐘を与えた。

この講演の最中(9日正午頃)に、地震によるかなり大きな揺れ(11日の本震に対する前震 M7 とのこと)があったことから、講演終了後は参加者の間で、日本のような地震多発国の原発に対する不安、懸念について会場のあちこちで話が交わされていた。私は、水(液相のみでなく気相も含めて)の放射線分解による水素生成のメカニズムと G 値について、また、これらの固体表面・界面上での特異性などについて雑談を行ったと記憶している。「ワークショップ」は10日夕に終了、参加者は11日朝までに散会した。その一部は東海村へ移動し、11日午後からのサテライトを予定していたと聞いている。当然のことながら、これは中止され、参加者の多くはその帰途が大幅に遅れたとのことである。

今回の「本」の出版<sup>2)</sup>と「ワークショップ」の開催<sup>1)</sup>は、その直後の未曾有の大地震・津波そして原発事故と、このように互いにまったく偶然の事象として起こった。しかし、これらの間には内容的に無視することが出来ない重要な関連性が含まれている可能性が大きいと考えられる。事故の発生原因それ自身のみでなく、関係者によるこれへの対処方、その後次々と起こる放射線・原子力に関わる科学・技術上の問題とその社会的な影響に関する情報に触れるたびに、今回の「本」ならびに「ワークショップ」で指摘され懸念されていた諸課題が浮き彫りにされつつあるように感ぜられる。また、さらに新しい多くの重要な課題が生み出されつつあるようである。「放射線化学の基礎・応用における進歩」を担う本誌読者は、これらの多くの課題について注意深い解析と対処を強く促されている。後に、「4 放射線化学の重要な役割」において、これらについて私見を述べる。

## 2 放射線化学の進歩と将来展望 –Book Project とその経緯–

この国際 Book Project は以下に述べるように IAEA の長期 (1985–1995) Project がその発端となっている。この IAEA Project<sup>3)</sup> は, Curie と Roentgen による放射線の発見以降 100 年間にわたる放射線と物質との相互作用に関する基礎研究の成果を, 新しい世紀へ向けてまとめることを目的としたものであり, その成果は IAEA 報告書<sup>3)</sup> に詳細にまとめられている。また, その骨子である相互作用初期過程 (物理的過程) に関する Platzman–Fano–Inokuti 理論とこれをシンクロトロン光および電子線衝撃分光を用いて実証した実験について, Roentgen X 線発見 100 年を記念として開催された 10th ICRR, Wurzburg, 1995 の全体講演としての報告<sup>4)</sup> がある。

この IAEA Project は放射線と物質との相互作用の初期過程 (物理的過程) のみを主要な対象としているところから, それに続く物理化学的過程, 化学的過程, 生物学的過程も対象に含めるべきであるとの強いコメントが各方面から寄せられた。また, その報告書<sup>3)</sup> のサーキュレーションが極めて不十分であったこともあって (その後, 本稿著者が IAEA へコメント<sup>5)</sup> した結果, 現在ではその URL<sup>6)</sup> から入手可能), 物理的過程から生物学的過程に至る多くの基礎過程を対象とし, さらに応用についてもサーベイを行うこととした本の出版が強く要望され, 国際 Book Project がスタートした。放射線化学研究者を中心として, これに IAEA Project 参加者から選考された物理学分野の研究者, さらに放射線に係る生物学, 医学, 工学各分野の研究者が加わって国際 Project が活発に進められて所期の目的が達成され, 本が出版された<sup>7)</sup>。

出版後間もなく, 放射線に関する化学, 物理学, 生物学, 医学, 工学の各分野は言うまでもなく, これらとは異なる多くの科学・技術の分野からも多様な Positive コメントがあり, それとともに, 予期していなかった次のような強い要望が編集者に届けられた。それは, 過去 100 年間のサーベイは興味深く有用であるが, 研究の現状と将来展望をもっと詳しく, そして応用も, さらに他分野とのインターフェイスについてもサーベイして欲しいというものであった。

編集者と出版社 (レフェリー) は, 2005 年頃より, これらのコメントおよび要望をよく検討し意見・情報交換を行って, 新しい続版 (後編) の素案づくりを始めた。その結果に基づいて, 国際的 Advisory Board の下で, 国際シンポジウム<sup>8)</sup> が 2007 年に開催され, その結果を踏

まえて Chapter Title と執筆者が選考された。このようにして, 本稿の最初に述べたように, 続編 (後編) が予定通り本年 1 月に出版された。前編に対する Positive コメントおよび強い要望に基づいた編集作業の所期の目的は十分達成されたものと考えている。

「本 (前編, 後編)<sup>2,7)</sup> の内容は, 後編<sup>2)</sup> の出版社の Website <http://www.crcpress.com> からその概要を知ることができる。また, 2nd APSRC, Tokyo, 2008 の Keynote Lecture Paper “Future Perspectives of Radiation Chemistry”<sup>9)</sup> にもその概要が紹介されている。なお, 後編 Chapter 1 Introduction<sup>2)</sup> には, 編集者による, 前・後編を通じた “Charged Particle and Photon Interactions with Matter” 全体としての重要な結論がまとめられている。その内容はおよそ次の通りである<sup>2,7)</sup>。

放射線と物質の相互作用の初期過程 (物理的過程) に関する Platzman–Fano–Inokuti 理論は, 本稿著者らによるシンクロトロン放射光および電子線衝撃分光を用いた分子の振動子強度分布, イオン化・励起・解離各断面積の測定, 超励起状態の電子状態とその解離ダイナミクスの観測によって実証された。物理的過程に続く物理化学的, 化学的, 生物学的過程から成る多くの基礎過程に関する研究の成果は, それぞれの専門研究者によって前編・後編の多くの Chapter にまとめられている。これらについても実験・理論ともにその進歩は著しい。応用研究については, 前編と後編の内容から互いに大変興味深いコントラストを見ることができる。前編においては, これがほぼまだ揺籃期にあることを示しているが, 後編ではこれが極めて多様で豊かになりつつあることを示している。応用研究および他分野とのインターフェイス構築は, いわゆる工学・技術分野のみでなく, 基礎科学分野へも及んで新しい風を送り続けていることに注目したい。

### 3 原子力工学における放射線効果

前編・後編<sup>2,7)</sup> の内容のうち今回の「ワークショップ」<sup>1)</sup> の趣旨に直接関わるものについては, 本号で関係者による詳細な説明があるので, 以下に各 Chapter の Title, Subtitle のみを挙げる。これらの Chapter には, 放射線化学の観点から見て原子力工学において重要とされている研究の詳細がまとめられている。

#### ● 前編<sup>7)</sup>

Chapter 23: Application of Radiation Chemistry to Nuclear Technology (Y. Katsumura)

##### 1. Radiolysis of water at elevated temperature

–Radiation effect of coolant water in nuclear reactors.

2. Radiation effects in spent nuclear fuel reprocessing.
3. Radiation effects relevant to high-level waste repository.

● 後編<sup>2)</sup>

Chapter 34: Radiation Chemistry in Nuclear Engineering (J. Takagi, B. J. Mincher, M. Yamaguchi and Y. Katsumura).

1. Application of radiation chemistry to power plants.
2. Radiation induced processes in the spent nuclear fuel reprocessing.
3. Geological disposal of high level radioactive waste.

また、「本」(後編)<sup>2)</sup>の多くのChapterでは、気相、超臨界状態、液相、固相、表面・界面、生体系など種々の条件下での水について、荷電粒子およびフォトンとの相互作用が論じられていることが特徴の一つである。これらは基礎研究の観点から重要であるばかりでなく、応用研究特に原子力の観点からも重要な知見と考えられる。放射線化学の原子力工学における重要性は明らかである。放射線化学を含む放射線研究が意外にも原子力工学コミュニティにおいて軽視されているという事実は、どこにその原因があるか明らかにされねばならない。

#### 4 放射線化学の重要な役割

今回の福島原発事故を契機として、国内外において、原発を維持すべきか否か、維持する場合の方式と時間スケジュール、廃炉・高経年化炉への対処、新型炉・次世代炉をどうするかという問題が論じられ、また、エネルギー問題・環境問題全体の中での原子力エネルギーの位置付け、エネルギー源多様化と再生可能エネルギーへの重点的移行の問題と原子力エネルギーの問題との関連性、原発の炉のみでなくその施設全体における放射線効果・影響の評価に関する問題、放射線の自然環境、社会への影響の問題などが指摘され論じられている。これらの問題は分類・解析にいとまがないほどに多岐にわたっている。これらに関する意見・情報交換は、報道等から伝えられる限り、真剣で活発なものに加えて、対象となる問題の複雑性と基礎・基盤となる知識・情報が不十分なことによる見かけ上、活発なものが多々見られる。

これらの問題の多くは、科学・技術上の問題に限定しても、相互に多岐にわたる関連性を持って複雑化していることは概ね明らかである。また、報道等でよく見られるように、社会的・政治的な要素が加わることによって、

さらに著しく複雑化しているようである。したがって、本稿においては、これらの問題を、本誌読者それぞれが個人または一市民として注意深く考えて対処するべきものと、専門的にこれらの問題の少なくともその一部と密に関わる可能性が大きいと考えられる本誌読者がこの分野の一研究者・一教育者として対処するべきものとにまず大別することにし、ここでは後者の問題について以下に私見を順不同で挙げることにする。

[1] 今回の「ワークショップ」は、偶然に大震災・原発事故の直前に開催されたものであることから、「事故」によって生じた問題の内容を踏まえて、「ワークショップ」の発表の内容はすべて現在の時点で再度冷静に注意深く解析・評価してみることが必要である。

[2] 全体講演<sup>1)</sup>の後に行われた「雑談」のうち、水(液相のみでなく気相も)の放射線分解における水素生成のメカニズム、その固体表面・界面での特異性などの研究はこの分野における新しい重要な実験テーマの一つと考えられる。

[3] 放射線化学と原発事故とのこのような係わりを、この機会に注意深く考えることは重要であるけれども、当然のことながら、このような状況とは独立に、放射線化学のいろいろな側面における研究の進展の歩みが滞ることはなく、より一層深められねばならない。専門分野としての重要性を深めるのみでなく、その成果の広範な科学・技術諸分野、社会への波及効果も重要であることを強く認識するべきである。認識するのみでなく、的確で具体的な啓蒙活動を、国内外へ向けて行うことが必要である。本稿で紹介した「本」(前編・後編)<sup>2,7)</sup>、そして本学会によって出版された「放射線化学のすすめ」<sup>10)</sup>とともに、互いに相補的な役割も生かすことによって、この目的のための有用な資料の一つとして活用されることが期待される。

[4] 放射線化学、さらに放射線に関わるいろいろな分野での新たな人材育成に対して、より一層真剣に取り組む必要がある。

[5] 本誌の読者は放射線に係る専門の立場から、他分野の研究者・教育者、学生、一般市民に対して、放射線に関する種々の基礎的な内容を啓蒙する活動を新たに行う必要がある。上記の資料のうち特に後者<sup>10)</sup>は、このためにも有用である。このような啓蒙を行う場合には、放射線化学のみでなく放射線に係る広範かつ基礎的な知識と技術の内容を平易な言葉で伝える必要がある。今回の事故を契機に伝えられる報道等に触れて、一般市民のみでなく多種多様な専門家、責任ある立場の者が、著しく不適切、不十分な放射線に関する知識と理解のもとで発言を行っていることに気がつく。

[6] エネルギー源の多様化と再生可能エネルギーの開発は必須と考えられる．そのための研究開発に対しても，物質のイオン化・励起・解離を伴う諸反応過程を専門的に研究対象としている本誌読者または放射線化学研究者の持つポテンシャルは高いと考えられる（参照：「高効率アモルファスシリコン創製のためのシランプラズマ中の反応制御：パルスラジオリシス法による研究」<sup>11)</sup>）．

## 5 おわりに

以上，本特集の「総論」に代えて，標記の題目について述べた．このたび国際的 Book Project による「放射線化学の進歩」をまとめた本の出版<sup>2)</sup>を行い，また国際ワークショップ「原子力工学における放射線効果」での全体講演<sup>1)</sup>を行ったが，これらをその直後の大地震・大津波・原発事故と偶然に近接した事象として漠然と捉えることは不適切であると考えている．この未曾有の原発事故とそれに引き続いて起こりつつある原子力，放射線に係る諸問題は，この「本」および「ワークショップ」の内容と密接に関連する部分が多い．本稿では，まず「ワークショップ」の講演内容として，「本」の内容に即した「放射線化学の基礎・応用における進歩」とその諸科学・技術への波及効果を概説するとともに，特に「原子力工学における放射線効果」について「本」の中の Chapter を紹介した．おわりに，これらを踏まえて，放射線化学研究者の一人として今回の諸問題に対してどのように対処すべきかについて私見を述べた．

## 参考文献

- 1) Y. Hatano, in International Workshop on Radiation Effects in Nuclear Technology, Tokyo, March 9–10, 2011.
- 2) *Charged Particle and Photon Interactions with Matter. Recent Advances, Applications, and Interfaces.*, ed. by Y. Hatano, Y. Katsumura, A. Mozumder, CRC Press / Taylor & Francis, Boca Raton, **2011** (ISBN: 978-1-4398-1177-1).
- 3) *Atomic and Molecular Data for Radiotherapy and Radiation Research*, ed. by M. Inokuti, IAEA-TECDOC 799, IAEA, Vienna, **1995**.
- 4) Y. Hatano, *Application of Synchrotron Radiation to Radiation Research*, Congress Lecture, 10th International Congress of Radiation Research, Wurzburg, 1995, *Radiation Research 1895–1995*, ed. by U. Hagen, D. Harder, H. Jung, C. Streffer, Univ. Wurzburg Press, Wurzburg, **1995**, Vol. II, pp. 86–92.
- 5) Y. Hatano, *Atomic and Plasma-Material Interaction Data for Fusion*, ed. by R. E. H. Clark, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, **2008**, Vol. 14, pp. 77–84; Y. Hatano in IAEA Coordinated Research Project on *Data for Molecular Processes in Edge Plasmas*, 2004–2006.
- 6) <http://www-nds.iaea.org/reports-new/tecdocs/iaea-tecdoc-0799.pdf>
- 7) *Charged Particle and Photon Interactions with Matter. Chemical, Physicochemical, and Biological Consequences with Applications.*, ed. by A. Mozumder, Y. Hatano, Marcel Dekker, New York, **2004** (ISBN: 0-8247-4623-6).
- 8) *International Symposium on Charged Particle and Photon Interactions with Matter*, Tokai, Nov. 6–9, 2007. See the proceedings, *Radiat. Phys. Chem.* **2008**, 77, 1119–1339.
- 9) Y. Hatano, *Radiat. Phys. Chem.* **2009**, 78, 1021.
- 10) 日本放射線化学会編，「放射線化学のすすめ」，学会出版センター，**2006**．
- 11) Y. Hatano, *Advances in Atomic, Molecular, and Optical Physics*, ed. by B. Bederson, H. Walther, Elsevier Academic Press Inc: San Diego, **2000**, Vol. 43, pp. 231–241.