

テーマ1「関西の放射線関連施設の現状と将来」

③

日本のガンマ線照射受託機関の現状と、 コーガアイソトープの特徴および将来展望

株式会社コーガアイソトープ

取締役 廣庭 隆行

日本のガンマ線照射研究は、大学や研究機関等で長年にわたり基礎研究のためのガンマ線照射が行われてきたが、維持管理の問題から利用を停止・縮小する動きがある。将来を支える基礎研究の実施が危ぶまれる一方で、民間の照射施設では、滅菌・改質などを中心とした利用が盛んに実施されている。これらの状況報告と、今後の民間施設を利用した将来展望について解説する。

日本のガンマ線照射受託機関の現状と コーガアイソトープの特徴および将来展望

株式会社コーガアイソトープ
廣庭 隆行

1. はじめに

ガンマ線照射は現在、工業、農業、医療などを中心に、我々の生活のさまざまなところで利用されており、今や無くてはならないものになっており、まだまだ多くの応用が可能であると考えている。たとえば、ガンマ線照射による高分子材料への新機能の付加や、最近急速な発展をしている生体由来の再生医療製品の滅菌利用などがある。

本章では、これらの発展に欠かせない日本のガンマ線照射の受託機関の現状と、コーガアイソトープの照射における特徴および将来展望について解説させていただく。これらの情報が今後のガンマ線試験照射の利用促進と発展に少しでもつながれば幸いである。

2. 日本のガンマ線照射受託機関の現状

この項では日本のガンマ線照射受託機関の現状について紹介する。

筆者が把握しているコバルト 60 ガンマ線照射受託機関は以下の通り。

機関名	所在地
ラジエ工業(株)	群馬県高崎市
(一財)放射線利用振興協会	群馬県高崎市
日本照射サービス(株)	茨城県那珂郡東海村
(株)アトックス	千葉県柏市
東京科学大学	東京都目黒区
(株)コーガアイソトープ	滋賀県甲賀市
大阪大学産業科学研究所	大阪府茨木市

このうち、滅菌等を受託している民間照射会社は、毎年のように線源を増量しているが、その他の機関は線源増量がままならないところもあり、照射時間が増加しているとのこと。さらに閉鎖または外部からの受託終了となっている機関もある（農研機構ガンマフィールド、大阪公立大学など）。

この要因としては、コバルト 60 線源の高騰、放射線管理が厳しくなったことがあげられる。これまで研究利用としては、大学や研究所の照射施設が利用されてきたが、利用しにくくなっていると考えられる。

そこで、コーガアイソトープとしても更なる研究利用へのサポートを検討している。

3. 大線量コバルト線源について

3. 1. ガンマ線源の構造

市販されているもっとも流通量の多いタイプは、カナダの Nordion 社製の C-188 タイプのコバルト 60 線源が使用されている。

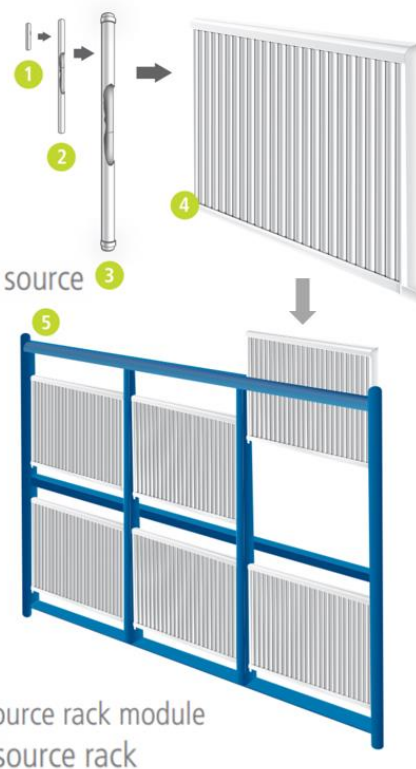
ガンマ線源

コバルト60 を使用

- ① Cobalt-60 slugs
- ② Cobalt-60 inner source element
- ③ Nordion source C-188 Cobalt-60 source



- Nordion (カナダ) 製
- C-188型 棒状線源



- ④ Irradiator source rack module
- ⑤ Irradiator source rack

図1 カナダ Nordion 社製 コバルト 60 線源 C-188 タイプ



内部構造 (ステンレス 2 重カプセル)

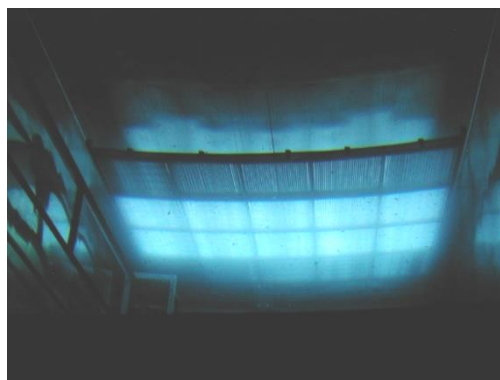


図2 プール内でのコバルト 60 線源 (青い光はチェレンコフ光)

C-188 線源は、金属のコバルト 60 が、2 重のステンレスカプセルに密封されたペンシル状の線源構造となっていて、1 本あたり 3.7×10^{14} Bq (370TBq 1 万 Ci) の線源が利用されている。これを約 50cm 角のモジュールに 42 本並べ、さらにこのモジュールをラックにセットして、板状の線源として利用している。

4. コーガアイソトープの施設紹介

4. 1. ガンマ線照射装置

当社のガンマ線照射施設は、すべて Nordion 社の設計となっており、2m以上のコンクリート壁、照射台、6m以上の深さプール設備、コンベア装置で構成されている。

格納プールには線源を腐食させないように、イオン交換水を用いている。

線源使用時には、線源上下移動用エアシリンダーで、線源ラックに取り付けられたワイヤーを引き上げ、板状の線源ラックを照射容器の間に引き上げる（図 3, 4）。線源自体の動きは上下移動のみとなっている。停電時には、エアシリンダーの電磁弁が解放され、線源は自重で格納プールに収納される。照射室内は、最も線源に近い場所で 100kGy/h 以上になるため、当然、照射中は人が中に立ち入ることはできない。照射物は、専用の照射容器に充填され、搬送コンベアにて下段から搬入され、線源の周りを一定の時間で一周して、上段から搬出される。医療機器の滅菌に使用されている 25kGy を照射するのに、当社 1 号機で、およそ 2.5 時間程度となっている。

この照射時間は、コバルト 60 の放射能、照射容器の大きさ、線源の配置方法などによって変わる。照射は専用の照射容器に製品を詰め替えて照射を行う。専用の照射容器のため、線源の近傍まで近づけて照射することが可能なため照射効率が高い。また、照射容器の線源入射方向の巾が 46cm で、最大/最小線量比を 1.5 程度におさえることができる。そのため、照射容器に製品が入ることが必須条件となる。容器より大きい製品は照射室に別途持ち込んで、静置照射などを行っている。

4. 2. 1 1号機照射装置

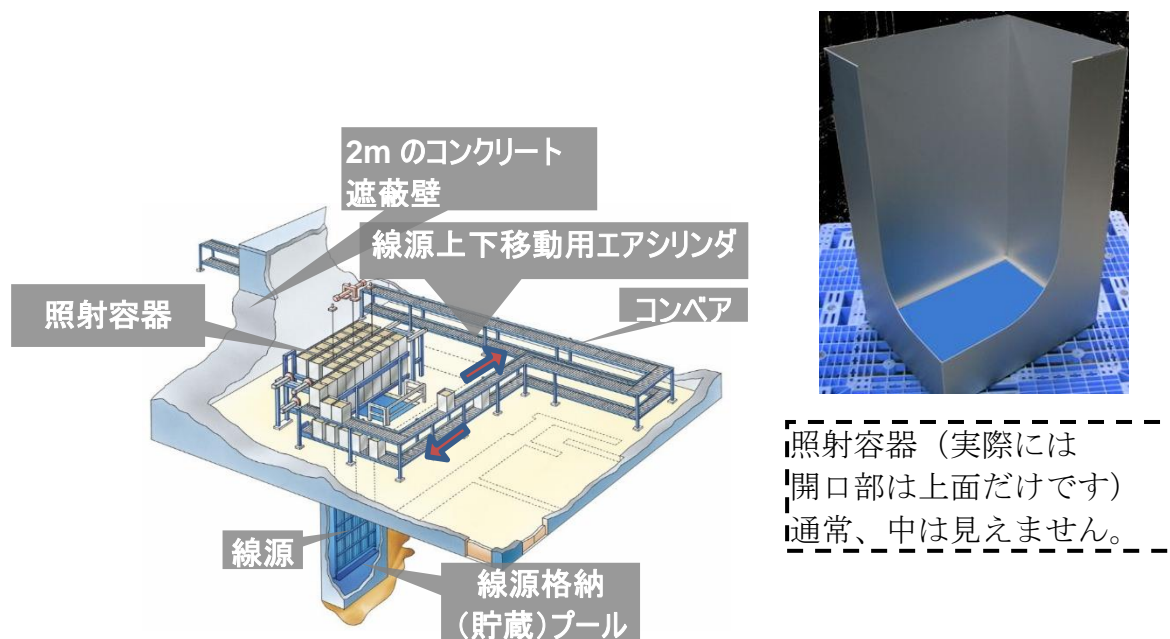


図3 1号機照射設備

1号機照射装置は、照射容器サイズが、58*46*89cmで80kgまで充填できる高密度製品用となっており、コンベア1周で8, 10, 15, 20, 25, 30kGyと細かい照射が可能であり、医療機器や試験照射品などを照射している。

静置照射では、線源近傍であれば100kGy/hが可能であるが、常にコンベア照射しているため、照射できる時間は要相談となっている。また、照射容器の外側であれば、数kGy/hの照

射も可能であるが、照射容器内の製品重量により線量率が変化する。

4. 2. 2. 2号機照射装置

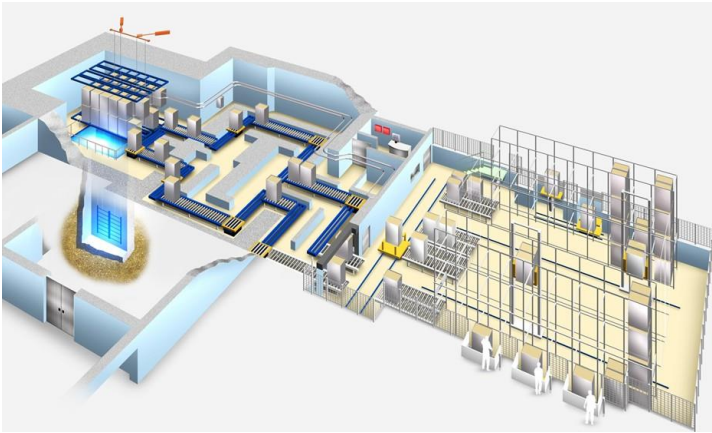


図4 2号機照射装置

2号機照射装置は、照射容器サイズが、82*56*180cmで290kgまで充填できる大型箱用となっており、コンベア1周で6kGyから30kGyの照射が可能である。化粧箱で照射し、そのまま出荷するような製品が主要となっている。

2号機も常にコンベア照射しており照射容器の外側であれば、数kGy/hの照射も可能であるが、照射容器内の製品重量により線量率が変化する。

4. 2. 3. 3号機照射装置

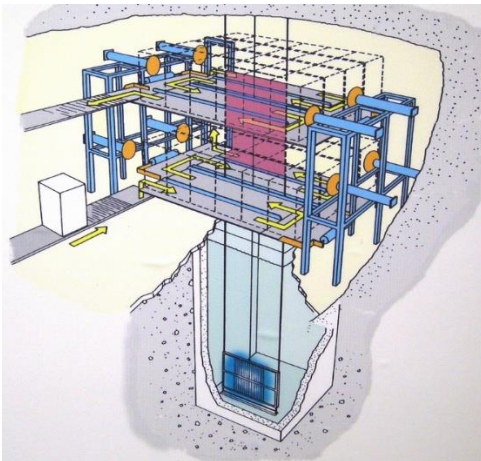


図5 3号機照射装置

3号機照射装置は、照射容器サイズが、1号機と同じ58*46*89cmで60kgまで充填できるが、放射能が1号機の1/20と低線量照射用となっており、コンベア1周で0.5kGyから1kGyの照射を複数周照射して目的の線量まで照射する。

3号機ではB5サイズで厚さ1cmの製品であれば、15kGy/h程度で長期間の照射も可能となっている。また、月・金曜日は静置照射を行っており、20Gy/hから15kGy/hの照射も可能となっている。3号機では、様々な線量での試験照射や低温試験照射、8kGy程度までの±10%

での精密照射や、電線やカメラなどの材質劣化試験、ウイルスの不活化の実験のための貸し切り照射などが行われている。

4. 3 ガンマ線照射の方法

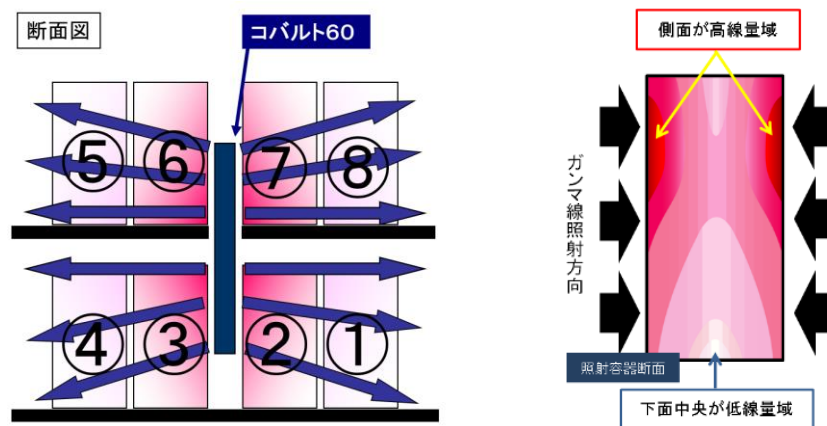


図6 照射装置の側面図

図6は、当社1号機の例であるが、格納プールから引き上げられた板状のコバルト60線源は照射容器の中心に固定され、全方向にガンマ線が放出されている。各番号の奥側に7箱の照射容器が並んでいる。搬送コンベアで搬入された照射容器は①を奥側に1コマずつ数分ごとに移動していき、①から⑧のラインを全て移動することで、上下左右からまんべんなく均等に照射され、照射室から搬出される。合計すると図6右のように、最小線量が下面に、最大線量が側面に出現する。そのため、一定密度であれば製品外面で最大最小が測定できる。

減衰により、月に1%程度出力が減っていくが、その分移動時間を隔週で数秒増やすことで、元の線量での照射が可能である。これを繰り返し、1年たつと12%出力が減少するため、線源を補充し、元の出力に戻す作業を行う。

5. ガンマ線照射が利用されている製品

この項では実際にどのようなものが照射されているかを以下に紹介してゆく。

大規模ガンマ線照射施設での照射を行う目的は、大きく分けて殺菌・滅菌と改質に分けられる。

5. 1. 滅菌を対象とした製品

ガンマ線滅菌・殺菌が行われている製品では、医療機器、医薬品、化粧品、包装材料、実験動物飼料、検査器具などがあげられる。

5. 1. 1. 医療機器

体内に挿入される、または体液と触れる医療機器においては、滅菌医療機器として、滅菌保証が求められる。ガンマ線滅菌は、ISO11137規格により滅菌保証の方法が確立しており、比較的導入しやすいことから多くの滅菌医療機器で採用されている。その特長として、ガスを通すような特殊な包装を必要とせず、通常の包材でヒートシールなどを用いて密封し、梱包した後に開封せずに滅菌できるため滅菌後の2次汚染がないこと、熱に弱い製品でも滅菌できることが挙げられる。

当社でガンマ線滅菌されている例を以下に示す。



図7 ガンマ線滅菌されている医療機器の例

5. 1. 2. 再生医療・バイオ医薬品関連

最新の医療として iPS 細胞等を利用した研究が進められているが、細胞を培養する上で、培養機器の滅菌保証が必要となっている。しかし、洗浄等では保証が難しく、ガンマ線滅菌された使い捨てのバックや容器などの需要が増加している。

また、生物由来の生体膜などを医療機器・医薬品として応用しようとする事例も増えており、熱では変質してしまうものも、ガンマ線では品質が維持できる場合があり、これらの応用が検証されている。

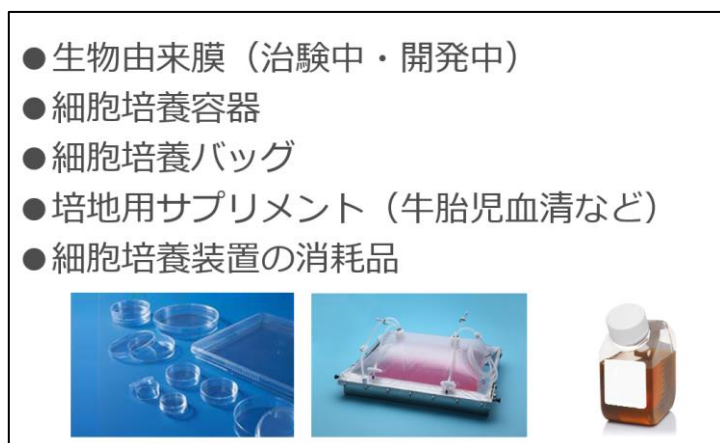


図8 再生医療・バイオ医薬品関連の例

5. 1. 3. 医薬品

医薬品では、原料の段階でのガンマ線滅菌は実用例があるが、最終製品段階での利用例はまだない。これは放射線滅菌の導入段階での試験で、製剤の分解などが問題となることによるが、山口氏[1]により、冷凍照射をすることで製剤の分解を押さえながら滅菌する方法が提案されている。当社においても医薬品の分解を抑えた冷凍照射の検討が行われており、今後の展開が期待される。

医薬品の滅菌法としては、日本薬局方の第十六八改正第二追補の参考情報に放射線法が記載されており、各滅菌法にて管理すべき項目及びユーティリティが記載されているが、放射線滅菌の中なかでもガンマ線滅菌の管理事項の少なさが際立っている。これは、滅菌工程を管理する上で放射線滅菌がいかに管理しやすいかを物語っている。

医薬品で滅菌が必要なものは点眼薬や注射剤と限られており、濾過滅菌や加熱滅菌および無菌充填によって無菌性が担保されている。しかし、熱に弱い製剤や、濾過ができない製剤及び製造ロット単位が小さい製剤についても、代替法としてガンマ線滅菌が検討されている。

5. 1. 4. 化粧品

化粧品においては、エチレンオキサイドガス滅菌や抗菌剤にて菌数管理を行っているが、殺菌剤の残留、抗菌剤添加による人体への悪影響が懸念されていることから、一部の化粧品原料や最終製品には、ガンマ線照射による微生物管理が利用されるようになっている[2]。

たとえば、タルクといった鉱物由来の製品には嫌気性菌が混入している場合があり、原料段階でのガンマ線照射が実用化されている。

また、1回分ごとに個包装された防腐剤フリーの化粧水をガンマ線処理した製品も登場している。

5. 1. 5. 実験動物飼料

医薬品などの研究所等で使用される実験動物には無菌環境で飼育されているものがあり、滅菌した飼料が与えられている。ガンマ線滅菌された餌はほかの滅菌方法に比べて栄養価が下がらず、変化が少ない[3]ことから餌の食いつきも良く、すでに40年以上前から実施されている。

5. 1. 6. 包装材料

包材では主に食品用や医薬品用に利用されている。食品用では、容易に腐敗するものを包む製品に多く用いられている。

- ・バックインボックス (BIB) 液体を入れて輸送するキャップ付きの袋。
- ・ロールフィルム

ロール状に巻かれたものは、他の滅菌法では処理しにくいですが、ガンマ線であれば内部まで透過するため、巻いたままの照射が可能で、フィルムを痛めることなく処理が可能となっており、多く利用されている。

- ・綿糸

贈答用のハムにまかされている綿糸。ハムにカビが生えないように、事前にガンマ線で殺菌しておく必要がある。

- ・木や竹の串

フランクフルトなどの串。以前はエチレンオキサイドガス滅菌が行われていたが、エチレンクロロヒドリンが検出され[4]、現在ではガンマ線滅菌が用いられている。

- ・医薬品包装材料

無菌医薬品の包材について、厚生労働省医薬食品局監視指導・麻薬対策課（平成23年4月20日付け事務連絡）の「無菌操作法による無菌医薬品の製造に関する指針 9. 2. 2 バリデーション」に「容器及び栓の滅菌方法のバリデーションを実施すること」と記載されており、無菌医薬品の包材について、滅菌保証しやすいガンマ線滅菌の利用が進められている。

5. 1. 7. 検査器具

検査器具においても、菌が存在すると試験結果に影響を及ぼすことがあるため、ガンマ線照射が利用されている。シャーレ、PCR検査用の容器などがある。

5. 1. 8. その他

その他の利用例について紹介する。

・木製仏像

文化財として重要な仏像であるが、定期的な修復の際に、あらかじめ解体した木製部位に対し、殺虫目的のガンマ線照射が一部行われている。通常は燻蒸処理が行われているが、ガンマ線照射であれば木の内部に存在する虫の卵も殺虫可能で、修復後内側から虫食いが生じるといったことがなくなる。

今後カビ対策も含めた文化財の保護にも、素材によっては応用可能と考えられる。

・水損文書

災害等で水損被害にあった重要書類は、すぐに復元作業ができないことから、多くのカビが発生しており、復元作業に大きな障害となっている。そこで、事前にガンマ線処理をしてカビを示す死滅させてから、作業を行いやすくするための研究が行われている[5]。

・畳表

和室で利用される畳は天然のイグサで作られている。しかし、新しい畳にカビが生えることがある。通常防カビ剤を用いてカビの発生を抑えているが、防カビ剤の量によっては人体への影響も懸念され、また畳内部からのカビには効きにくい。そこで、畳表のみを放射線照射し、内側のカビを死滅させた後、必要最小限の防カビ剤を塗布することで、カビを極力生えにくくした畳が大阪畳商工業協同組合から発売されている[6]。

5. 2. ガンマ線照射により改質が行われている製品

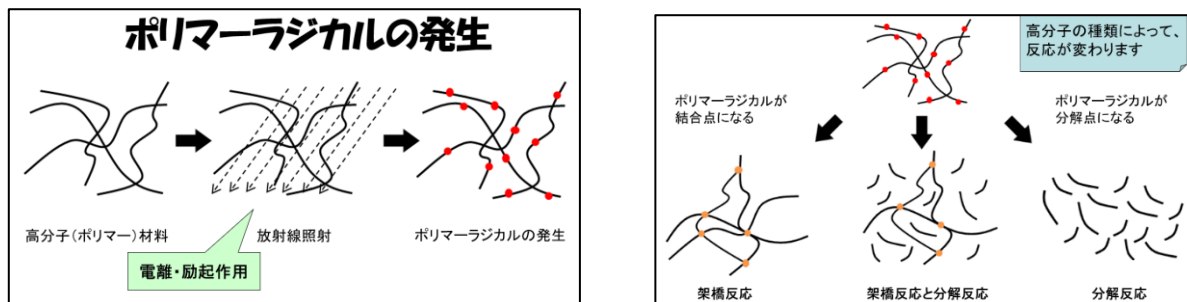


図9 ガンマ線照射による架橋と分解

高分子に放射線を照射すると、分解・架橋が起こることを図9に簡易図で示すが、分解・架橋は通常両方起きていて、どちらかが優勢になると分解型や架橋型と呼ばれる。どちらが優勢になるかは高分子の種類、酸素の有無、立体構造や照射条件等により変わることが知られている。

改質においては、滅菌に比べて高線量を必要とするものが多く、ガンマ線滅菌で改質が利用する場合、高密度の製品が多くなっている。

5. 2. 1. 架橋を用いた事例

架橋を用いてガンマ線照射が利用されている事例として、医療機器の超高分子量ポリエチレンを架橋して、耐摩耗性の向上を図るといったものがあげられる。

5. 2. 2. 分解を用いた事例

分解の事例では、ポリオキシドの分子量調整による可溶性の調整や、PTFEを分解させて粉

碎しやすく加工し、添加剤の材料にするといったことが行われている。

5. 2. 3. グラフト重合を用いた事例

放射線重合においては、グラフト重合として基材にガンマ線を照射して、ラジカルを発生させ、様々な官能基を結合させ、レアメタルなどを吸着させる素材の開発に利用されている。現在、ガンマ線によるグラフト重合により、ホルムアルデヒドを吸着分解する機能を持つ製品が製造・販売されている。ホルムアルデヒドは、シックハウス症候群の原因物質で発がん性物質として分類されており、建材からの除去が求められている[7]。

6. コーガアイソトープが進めるガンマ線照射利用の将来

6. 1. 耐放射線材料の開発

ガンマ線滅菌の最初のハードルに、材料劣化の問題がある。これまで利用できなかった材料をガンマ線滅菌できるようになれば、さらなる応用が広がると考えられる。

そこで、素材メーカーも耐放射線材料の開発が行われている。当社においても、滋賀県立大学と共同研究を行い、これまで、ガンマ線滅菌が困難であったポリアセタールに添加剤を加えることで、曲げ特性を滅菌線量レベルでも維持できる材料を開発して特許の申請を行った。現在、素材メーカーと量産の検討を行っている。こうした取り組みを進めることで、滅菌可能製品の対象範囲を広げるとともに、これらの素材を積極的に紹介していくことが重要と考えている。

6. 2. ガンマ線試験照射のサポート

ガンマ線照射は、その強烈な透過性能、出力の安定性、再現性の高さ、熱のかからない処理など多くの魅力があり、これからも様々な応用が可能と考えているが、2. で紹介したように、ガンマ線試験施設が減少傾向にある。そこでコーガアイソトープとしては、実用照射施設のため、様々な制限もあるが、今後も積極的に試験照射をサポートしていきたい。

コーガアイソトープで利用可能な線量範囲は、以下のようになっている。

コンベア照射 1kGy～5000kGy 程度は実績あり（線量率は変動あり）

静置照射（低温照射も可能）

1号機最大線量率

線量率固定 約 150kGy/h（月曜朝 3hのみ可）

線量率変動 平均 5kGy/h 程度 長時間も可能

3号機最大線量率

線量率固定 約 15kGy/h（A4サイズ厚さ 1cm であれば長期照射可能）

線量率変動 20Gy から 15000kGy の実績あり

ぜひお気軽にお問合せいただきたい。

6. 3. ガンマ線照射の今後の展開について

バイオ医薬品の項でも解説したが、他の滅菌法では、対応できない製品への検討も増加しており、ガンマ線滅菌という便利で確実な滅菌法をまだまだ多くの方にご利用いただくのが、私たちの社会的使命ととらえており、より分かりやすい説明、応用例の紹介、新しい利用方法の開発を進めていきたい。

引用文献

- [1] 山口透. 医薬品の冷凍照射法を用いた電子線滅菌. 日本防菌防黴学会誌, Vol. 41, No. 10, pp. 535-544 (2013)
- [2] 成末泰岳. ガンマ線による化粧品と化粧品原料の殺菌. FRAGRANCE JOURNAL, 12, (2012)
- [3] 伊藤均. 放射線と産業. No. 24, pp19-23(1983)
- [4] 羽石 奈穂子ほか. 食品用竹製品および串刺し食品中の 2-クロロエタノール. Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. Pub. Health. 62, pp.165-169(2011)
- [5] NGUYEN THI THUY LINH, Application of gamma radiation for disinfection of fungi in a large volume of historical archives damaged by flood following Typhoon Hagibis 2019, Japan: A case report, Biocontrol Science, 2021, Vol. 26, No. 1, 55-59
- [6] “大阪畳:osakajou.” 大阪畳商工業協同組合
<http://www.osakatatamikumiai.com/osakajou/index.html> (2014. 7. 31)
- [7] 河合政利. ガンマ線照射による高分子材料の影響. プラスチックス, 8, pp (2013)

講演者略歴



廣庭 隆行 (ひろにわ たかゆき)

所 属 株式会社コーガアイソトープ 取締役統括部長
住 所 〒520-3404 滋賀県甲賀市甲賀町神保53-6
連 絡 先 TEL/FAX : 0748-88-3125/2296、E-mail: hironiwa@koga-isotope.co.jp
学 職 歴 1989年 城西大学 理学部 化学科卒業
1989年 (社)日本アイソトープ協会入社 校正用線源の製造
2009年 (株)コーガアイソトープに転職 照射担当
2013年 博士(工学)(東京農工大学 BASE 院)
2015年 (株)コーガアイソトープ 取締役就任 現在に至る
研究・活動 ・厚労科研(2009-2011) 食品照射検知法の開発に参加
分野など ・マルチチャンネルフーリエ変換型微弱発光分光法を用いた物質への放射線照射影響の研究等