

放射線照射利用の現状について

大阪府立大学理学部准教授 古田雅一

1. はじめに

我が国において、原子力の平和利用が開始され、研究用原子炉第1号、JRR-1が初臨界に達し、いわゆる“原子の火”が灯ってから本年はちょうど50年となる。原子力委員会の第1回「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」において、原子力の利用は、「動力としての利用」と「放射線利用」を車の両輪のように進めていくことが謳われている。前者については、原子力発電所が着実に建設され、現在、55基のプラントが運転され全発電電力量の約3分の1を担っている。後者については、研究機関、大学、産業界で地道な研究、開発が進められ、工業、農業、医学・医療等の分野で幅広く放射線が利用される状況に至っている。

「放射線利用の経済規模に関する調査」は平成11年度にはじめて実施され、その波及効果の大きさが示された。昨年、8年ぶりに再調査が実施され、新しい手法も加味した結果として4兆1,100億円の規模と算出された。この経済規模の算出にあたっては、放射線の工業利用、農業利用、医学・医療利用及びエネルギー利用に分けて評価するとともに、経済学の専門家からなるグループがその妥当性をチェックする体制で実施した。講演者も「農業利用専門部会」委員として参加した。これら放射線利用の経済規模調査結果の概要を紹介するとともに最近の放射線利用の動向を紹介する。

評価対象年度としては、データの揃う直近の年度として平成17年度とした。さらに、同様な経済規模の算出を実施した平成9年度の値と比較するため、企業物価指数、消費者物価指数を用いて調整した。このデフレータは、2000年度（平成12年度）を100として、1997年度（平成9年度）は103そして2005年度（平成17年度）は97.7となっている。また、海外における食品照射の経済規模に関しては、精力的に現地調査を実施し、得られた経済規模は購買力平価により国間比較した。

2. 工業分野における放射線利用経済規模

工業分野では、(1)照射設備(電子加速器、診断用エックス線装置等)、(2)放射線計測機器等(放射線測定器や放射線防護機器等)、(3)非破壊検査、(4)放射線滅菌(電子線や γ 線による使い捨て医療用具の滅菌)、(5)高分子加工(ラジアルタイヤ、電線・ケーブル、発泡体等)、および(6)半導体加工を調査の対象とした。

調査では、薬事工業生産動態統計年報(厚生労働省)、工業利用統計(経済産業省)、業界が発行する年報、アンケート、インタビュー等により放射線利用製品の出荷額を調べた。

(2) 製品に占める放射線の寄与率について

放射線利用そのものに係る機器、製品は出荷額自体を経済規模に算入し、半導体加工及びラジアルタイヤ加工については、製品の価値を決める上で、放射線が重要な役割を果たしているものの、出荷額が約1兆円を超えるなど経済規模算定への影響が大きいこと、放射線を利用する部位が一部に限られ、かつ、区別した算定も可能であることから、製品における放射線加工の寄与率(放射線寄与率)を適用した。半導体加工については、フォトマスク(シリコン基板上に転写される電子回路のパターンが描かれた“半導体製品の原版”)の製造工程における電子線描画が全体に占める割合を放射線寄与率と見なし、25%とした。ラジアルタイヤ加工については、照射の対象となるゴム部材がラジアルタイヤ全量に占める重量比を放射線寄与率と見なし、4%とした。

平成17年度の調査結果を図1に模式的に示す。平成17年度の放射線工業利用経済規模は約2兆3,000億円である。半導体加工が全体の約60%に相当する1兆3,500億円、照射設備が4,600億円、放射線滅菌が1,700億円、非破壊検査が1,100億円、放射線計測機器等が1,000億円、そして高分子加工が1,000億円となっている。

デフレータ補正を行い平成9年度の経済規模と今回の調査で得られた結果を表1に示す。対比してみると、平成9年度、17年度とも2兆2,400億円となり、非破壊検査が増加し、放射線滅菌が減少しているが、経済規模全体額で見ると差異がないことが分かる。

3. 農業分野における放射線利用経済規模

農業分野での放射線利用は、1)照射利用、2)突然変異育種、3)アイソトープ利用・放射能分析の3つの区分について、直接ヒアリング及び統計資料入手することを主体に検討した。金額の算定は、その出荷額で行い、寄与率は適用しなかった。この結果を表2に示す。平成17年度の農業利用分野における放射線利用経済規模は、総額2,785億円と求められた。内訳は、照射利用が102億円、突然変異育種が2,534億円、アイソトープ・放射能分析が146億円と算出された。

農業分野の中で突出しているコメの突然変異育種の経済規模の算出において、平成9年度調査値には品種の数え落としがあり940億円が2,450億円となったため、農業分野の経済規模は2倍以上となった。

デフレータ補正を行った結果、農業分野の経済規模は、平成9年度の3,200

億円に対し平成 17 年度は 2,720 億円となり、約 480 億円の減少となっている。

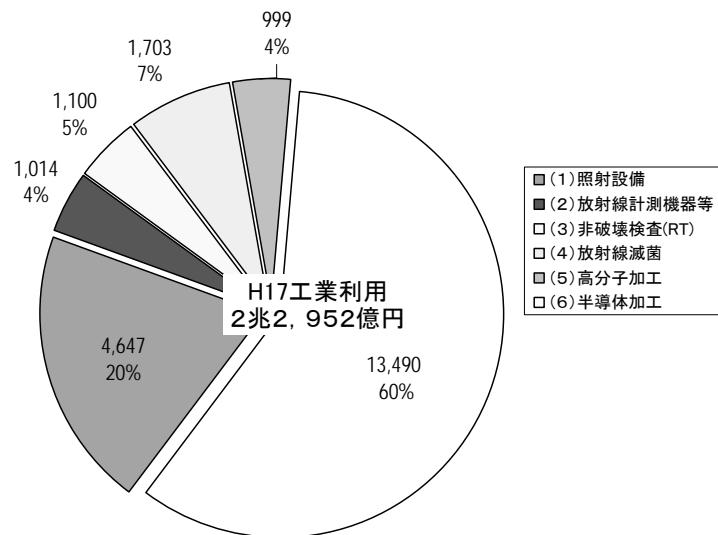


図 1 平成 17 年の工業利用出荷額

表 1 放射線工業利用の経済規模

年度、評価の種類	H17年度		H9年度	
	評価値	Def.	評価値	Def.
(1) 照射設備	4,647	4,542	4,274	4,405
(2) 放射線計測機器等	1,014	991	728	750
(3) 非破壊検査(RT)	1,100	1,075	315	325
(4) 放射線滅菌	1,703	1,665	2,147	2,213
(5) 高分子加工	999	976	1,206	1,243
(6) 半導体加工	13,490	13,186	13,103	13,503
合計	22,952	22,434	21,773	22,438

注意 : Def. のカラムは 2000 年の物価指数を基準(100)として
デフレータ補正した値である。

(1) 照射利用

照射利用には、食品照射、害虫駆除（不妊虫放飼法）^{†1}、滅菌の 3 つの分野が

^{†1} 不妊虫放飼法 (SIT) : 放射線照射によって不妊化したオスを野外に放ち、野生のメスと交尾させることにより次世代の虫の数を徐々に減らし、最終的には根絶する方法。沖縄などのウリミバエの根絶が達成されている。

表2 放射線農業利用の経済規模

項目	年度 評価方法	(億円)							
		H17(2005)年度		H13(2001)年度		H9(1997)年度			
		評価値	Def.	評価値	Def.	評価値	Def.	再評価値	Def.
(1) 照射利用									
食品照射	9	9	5	5	19	20	18	18	
害虫駆除(SIT)	67	65	65	64	84	87	77	79	
滅菌	26	25			62	64	15	15	
(2) 突然変異育種									
イネ	2,453	2,396	2,760	2,697	937	965	2,935	3,023	
その他	86	84			36	37	36	37	
(3) アイソトープ利用									
RIを用いる研究	4	4	5	5	7	7	7	7	
放射能分析	140	137			21	22	21	22	
C-14年代測定	1	1			1	1	1	1	
合計	2,785	2,721			1,167	1,202	3,109	3,202	

上表のDef.カラムはそれぞれの左側にある値のデフレータ補正值である。

含まれる。食品照射では、唯一実用照射が実施されている士幌農協の馬鈴薯の芽止めの処理量 8,096 トンの算定値に、輸入食品の放射線照射の履歴の有無の受託調査費を合計して、8.9 億円と算出された。一方、本調査に付随して行われた世界の食品照射の経済規模について表3に示す。世界の食品照射の処理量の総量は 40 万 5 千トンであり、経済規模は 1 兆 6,100 億円と求められた。品目別では、香辛料類の殺菌 18.6 万トン、穀物・果実の殺虫 8.2 万トン、ニンニクなどの発芽防止 8.8 万トン、肉・魚介類の殺菌 3.2 万トン、その他 1.7 万トンであった。食品照射の処理量が千トン以上の国は 16 カ国にのぼり、とくに中国、米国、ウクライナは処理量が 7 万トン以上と突出していた。アジアを中心に食品照射の実用化は順調に伸びているが、EU は表示違反の取り締まりを強化しているため後退していることが懸念された。

不妊虫放飼法 (SIT) の経済規模は、沖縄県及び鹿児島県奄美群島におけるウリミバエ根絶によって可能となった寄主植物の移動禁止解禁による県外への出荷分、移動制限解除による検査・燻蒸処理費用の軽減分、県内出荷の直接的被害軽減分の合計として求めた。この結果、沖縄県で 59.5 億円、鹿児島県で 7 億 300 万円と算出された。小笠原諸島におけるミカンコミバエ根絶による経済規模は 2,400 万円であり、我が国全体での経済規模は 66.8 億円と算出された。

滅菌の経済規模は、実験動物用飼料滅菌が 1.9 億円、バッグインボックス (BIB)^{†2} などの食品包装材滅菌は 24 億円、合計として 25.9 億円と算出された。

^{†2} バッグインボックス(BIB) : プラスチックの薄肉形成あるいはラミネートフィルムによる内袋と、外形

表3. 世界における食品照射、処理量と経済規模

	国	照射食品	処理量 (トン)	経済規模 (現地価格)	経済規模 (億円)
1	中国	ニンニク、香辛料、穀物	146,000	4,172 M CNY	2,321.30
2	米国	肉、果実、香辛料	92,000	7,316 M USD	8,493.88
3	ウクライナ	コムギ、オオムギ	70,000	1.4 M UAH	100.00
4	ブラジル	香辛料、乾燥ハーブ・果実	23,000	2,348 M BRL	2,185.19
5	南アフリカ	香辛料、その他	18,185	4,110 M ZAR	1,657.84
6	ベトナム	冷凍エビ	14,200	213 M USD	247.29
7	日本	馬鈴薯	8,096	1,254.88 M JPY	12.55
8	ベルギー	カエル脚、トリ肉、エビ	7,279	113 M EUR	157.13
9	韓国	乾燥農産物	5,394	161,820 M KRW	271.86
10	インドネシア	冷凍食品、乳児食、香辛料	4,011	355,475 M IDR	117.31
11	オランダ	香辛料、乾燥野菜、トリ肉	3,299	136 M EUR	182.89
12	フランス	トリ肉、カエル脚、香辛料	3,111	62 M EUR	80.36
13	タイ	香辛料、発酵ソーセージ	3,000	636 M THB	59.67
14	インド	香辛料、タマネギ	1,600	376 M INR	46.44
15	カナダ	香辛料	1,400	55 M CAD	52.07
16	イスラエル	香辛料	1,300	1.1 M ILS	45.43
	その他		2,929		107.06
	合計		404,804		16,138.27

(2) 突然変異育種

突然変異育種では、放射線突然変異直接利用品種及び間接利用品種の栽培收

を維持する紙箱を組み合わせた液体輸送容器。

入を求めた。イネは、全栽培面積約 170 万 ha の 12.3%が放射線突然変異品種(99 品種)であり、栽培面積に米生産費の 10a 当たりの粗収益(玄米の販売価格)を乗じた総粗収入額を求めた結果、経済規模は 2,452.6 億円と算出された。ダイズでは 55.6 億円、コムギは 5.7 億円、オオムギは 1 億円であり、イネ以外の経済規模は合計で 85.7 億円と算出された。この中には、エノキダケ、ナシ、モモ、カーネーション、キク、シバなども含まれる。

(3) アイソトープ利用・放射能分析

アイソトープ利用・放射能分析では、農生物分野におけるラジオアイソトープ(P-32、H-3、C-14、I-125 など)の頒布金額 2.7 億円、RI 廃棄物集荷金額は 1.5 億円の合計で 4.2 億円であった。放射能分析は、放射線・放射能分析 23 億円、作業環境測定業務の依頼事業、被ばく測定サービス事業を含む測定事業 72 億円、RI 施設の廃止に伴う廃止工事の請負事業及び RI 施設保守点検依頼事業 45 億円、合計 140 億円と算出された。C-14 年代測定は、考古学や地質調査における AMS(Accelerator Mass Spectrometry; 加速器質量分析法)の分析費を主体として総額 1.3 億円と算出された。

4. 医学・医療分野における放射線利用経済規模

医学・医療利用分野の経済規模は、医療行為をいわゆる保険診療とそれ以外の診療とに分けて分析し双方の合計を算出した。

保険診療については、厚生労働省大臣官房統計情報部が年度ごとに公表する「社会医療診療行為別調査」のデータをもとに医科と歯科の双方について積算した。調査に記載される診療行為の大分類の中から、検査、画像診断、放射線治療の 3 項目を対象とし、さらに各分類の中から診療行為小分類の中で放射線を利用した診療行為に該当する項目について医科 45 項目、歯科 13 項目につき検討した。平成 9 年度、平成 17 年度において放射線医療による使われた保険診療の点数を金額に換算して経済規模を推定する方法を取った。調査は各年度 6 月に集計されたレセプト 1 ヶ月分(実際の医療行為は 4 月分に相当する)の調査である。また、全ての保険のデータが調査対象になっていないので、この 2 つの要素を補正する係数を対象年度毎に社会医療診療行為全体の合計と国民総医療費との比として求めた。また前回調査時点から今回の調査の間に病名によって一括して診療報酬点数が算定されるいわゆる“包括医療”が一部の医療機関で段階的に導入されているため、公表されている包括医療全体の統計値から包括医療の中の放射線医療の寄与率を 4%^{†3} として補正した。また、前回調査

^{†3} 医科と歯科における放射線治療の総額を国民医療費で割ると、平成 9 年度から毎年平均して 4 ± 0.5% 前後になっており、平均で 4% と見積もられる。

との比較を行うため平成9年度の経済規模について、今回の方針で求めた補正係数で再計算した。がん対策基本法の施行により今後がん診療に関する放射線利用が促進されることが予想される。そのため、保険外診療の経済規模については全国規模の経済効果が推定できる項目として PETによるがん検診、CTによる肺がん検診、マンモグラフィによる乳がん検診を対象とした。放射線治療は先進医療として施行された陽子線治療および重粒子線治療を対象とした。放射線を利用したがん検診のうち、胃透視を用いた胃がん検診、胸部X線を用いた肺がん検診に関しては公開データから全国規模の経済効果の指定が困難であったため対象から除外した。

調査対象年度において放射線を利用した医科と歯科の保険診療報酬および保険外(自由)診療報酬の経済規模を表4にまとめた。

平成17年度の経済規模は保険診療については医科および歯科合わせて1兆5,100億円(このうち歯科は医科の約9%程度)であった。保険外診療については、PETによるがん検診82億円、CTによる肺がん検診9億円、マンモグラフィによる乳がん検診200億円、陽子線治療および重粒子線治療27億円で保険外診療の経済規模の小計は318億円であった。再評価した前回平成9年度の経済規模は保険診療1兆2,500億円、保険外診療3億円であった。

医学・医療分野の経済規模はデフレータ補正を行った結果、平成9年度の総額1兆2,800億円に対し平成17年度は1兆5,000億円であり、保険診療で約1,900億円、保険外診療で約300億円増加している。

5. 原子力エネルギー利用による経済規模

原子力のエネルギー利用としては、発電、化学工業等におけるプロセスヒート、原子力船のような動力利用が考えられるが、現在、我が国で実用に供されているのは、発電が主体であり、他には極く僅かながら海水脱塩や温室栽培等に使われ、また、原子力発電所の最終熱除去に用いられる海水の温度上昇を利用した魚介類の養殖が行われている^{†4}。海水脱塩及び魚介類養殖の経済規模は微々たるものであるので、ここでは、我が国において総発電電力量の約1/3を占めている原子力発電の経済規模の評価を行うこととした。原子力発電の経済規模の評価にあたっては、発電端で行うか、需要端で行うかの問題がある。需要端では、送電、配電に要する諸経費、一般管理費等の付加価値がつく。原子力発電の経済規模は、このような付加価値も含めたもので論ずることが、一般

表4 医学・医療利用分野における放射線利用の経済規模

^{†4}(社)日本原子力産業協会:原子力原子力ポケットブック(H9~H17)

項目	年度 評価の種類	(単位:億円)							
		H17		H13		H9			
		評価値	Def.	評価値	Def.	評価値	Def.	再評価値	Def.
計		0.5	0.5	0.2	0.2	2	2	2	2
画像診断(除くMRI)		13,492	13,187	13,598	13,292	10,302	10,617	10,360	10,677
放射線治療		1,077	1,053	914	894	564	581	564	581
歯科診療行為小分類	画像診断	1,279	1,251	1,062	1,038	1,027	1,058	1,027	1,058
	放射線治療	5	5	3	3	5	5	5	5
医科+歯科の経済規模(健保及びDPC考慮せず)		15,853	15,496	15,577	15,227	11,900	12,263	11,957	12,323
医科+歯科の経済規模(健保考慮、DPC考慮せず)		14,694	14,362	13,729	13,420			12,461	12,842
(I)医科+歯科の経済規模(健保及びDPC考慮)		15,061	14,721	13,729	13,420	11,900	12,263	12,461	12,842
保険外(自由)診療									
FDG-PET		82	80	-	-	未確定	未確定	2.8	2.8
CTがん検診		9	9	-	-	-	-	-	-
乳がん検診		200	195	-	-	-	-	-	-
粒子線治療		27	26	-	-	4.3	4.4	0	0
ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)		0	0	-	-	0.54	0.56	0	0
(II)自由診療の経済規模		318	311	-	-	5	5	3	3
まとめ									
保険診療合計		15,061	14,721	13,729	13,420	11,900	12,263	12,461	12,842
自由診療合計		318	311			5	5	3	3
医学医療における放射線利用合計		15,379	15,032	13,729	13,420	11,905	12,268	12,464	12,845

注意:上表のDef.カラムはそれぞれその左側にある値のデフレータ補正值である。デフレータは西暦2000年度の物価指数を基準(100)に取っている。
医学・医療における照射設備(医療機器類)の経済規模は3,693億円(H9),4,257億円(H17)あるが、工業利用で取り扱っている。

的な経済評価として妥当なものと判断した。この需要端における原子力利用の経済規模は電力会社の経常収益に原子力発電の比率を乗じて評価できる。また、参考値として、発電端における経済規模も評価した。

さらに、原子力発電の経済規模を電力会社以外の視点で眺めると、原子力発電所の建設、諸設備・機器の据付、運転に伴う保守や核燃料の準備から後処理まで様々な職種が関係しており、これらの産業の市場規模を評価しておくことは原子力産業動向を知る上で有意義であるので、この経済規模も評価することとした。ただし、これに関連した経済規模は輸出分を除いて全部が電気料金に上乗せされているので、得られた数値は参考扱いとし、原子力発電等関連機器の輸出額のみを原子力発電需要端における経済規模に加算し、原子力エネルギーの経済規模として算出した。

原子力発電需要端における経済規模の算出にあたっては、一般電気事業者9社の有価証券報告書損益計算書に記載されている経常収益と発電種別に公表されている発電電力量から原子力発電比率を求めて行った。また、原子力関連産業の経済規模は、日本原子力産業協会が毎年まとめている原子力産業実態調査報告を基に算出した。

評価結果を表5にまとめて示す。平成17年度の原子力発電による需要端での経済規模は、約4兆7000億円であり、原子力発電関連機器等の輸出額は371億円で合計約4兆7400億円となった。比較のためにデフレータ補正を行ったものを含め平成9年度及び中間年の平成13年度の数値も表に示した。平成17年度

の経済規模は、原子力発電機器等の輸出額は増加傾向にあるが、総発電設備容量が増加しているにも拘わらず平成9年度、13年度の経済規模を下回っている。

これは、平成13年度には中部電力浜岡発電所1号機における冷却系配管の破損事故、平成14年度には東京電力の定期検査データの改竄、隠蔽、BWRの炉心シラウドのひび割れ、平成16年度には関西電力の2次冷却系配管破断による死傷事故等が影響し、原子力発電プラントの平均稼働率が相当落ち込んだことによる。

表5 原子力エネルギー利用の経済規模

(単位:億円)

項目	平成17(2005)年度		平成13(2001)年度		平成9(1997)年度	
	評価値	Def.	評価値	Def.	評価値	Def.
(1)原子力発電 需要端	47,039	45,979	54,705	53,476	57,846	59,613
(2)原子力機器 輸出	371	362	154	151	67	69
(3)合計	47,410	46,341	54,859	53,627	57,913	59,682

注意:表中Def.は、その左カラムの値に対するデフレータ補正を行った値

また、図2には、エネルギー経済規模を平成9年度から17年度までの推移を示したが、上記の傾向が顕著に現れている。

なお、原子力発電所の発電端における経済規模は、需要端に比較するとその1/2.5～1/3である。

6. まとめ

(1) 放射線及び原子力エネルギー利用の経済規模

平成17年度における放射線利用及び原子力エネルギー利用について経済規模を評価した。その結果を表6に示す。

表中に示すように、放射線利用は工業、農業及び医学・医療分野を対象とし、原子力エネルギー利用については原子力発電の需要端における経済規模と原子力機器等の輸出額を評価した。

さらに平成9年度の評価結果と比較するため、これらの評価値に対して2000年度(平成12年度)を100とした物価指数補正(デフレータ補正)を行い、平成9年度の値とともに同表に示す。

まず、平成17年度における放射線利用とエネルギー利用を比較すると、図3示すように、放射線利用の経済規模約4兆1,000億円に対してエネルギー利用

表6 放射線及び原子力エネルギー利用の経済規模；平成17年度、平成9年度

分野	年度		(単位:億円)	
	H17(2005)年度	Def.	H9(1997)年度	Def.
工業利用	22,952	22,434	21,773	22,438
農業利用	2,786	2,722	3,109	3,203
医学・医療利用	15,379	15,032	12,464	12,845
放射線利用合計	41,117	40,188	37,346	38,486
原子力発電 需要端	47,039	45,979	57,846	59,613
原子力機器 輸出	371	362	67	69
エネルギー利用合計	47,410	46,341	57,913	59,682

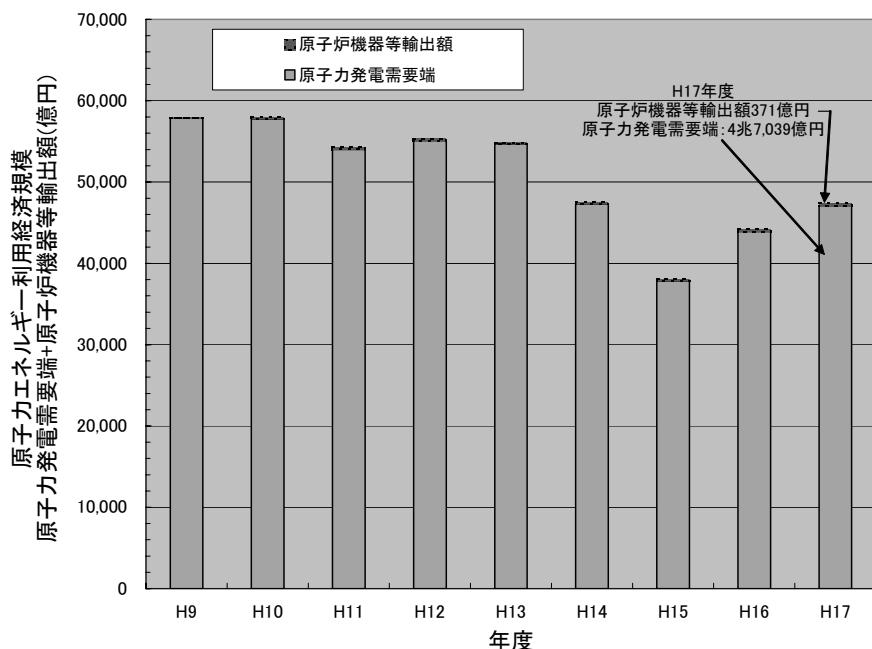


図2 原子力エネルギー利用による経済規模

は約4兆7,000億円であり、エネルギー利用がやや上回っている。

また、平成17年度の放射線利用の経済規模は4兆1,100億円であり、分野別の割合を図4に円グラフで示す。工業利用分野が約2兆3,000億円(56%)、農業利用分野が2,800億円(7%)、そして医学・医療分野が1兆5,400億円(37%)である。工業利用における半導体及びラジアルタイヤについては放射線寄与率25%と4%をそれぞれの出荷額に乗じて求めた。最近は、医学・医療分野の伸びが大きい。

放射線利用(工業+農業+医学医療)と原子力エネルギー利用(電力需要端+機器輸出)

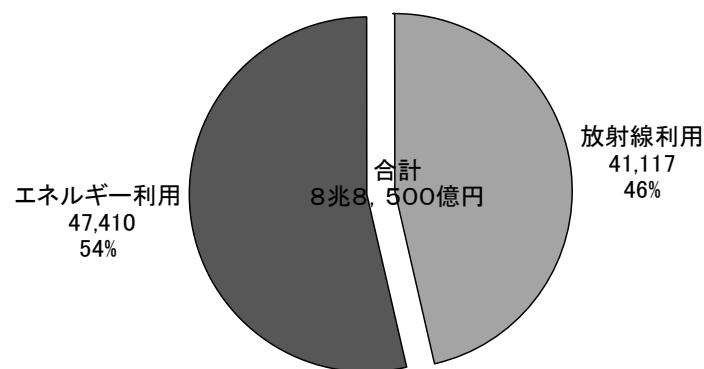


図3 放射線利用とエネルギー利用の比較(億円)

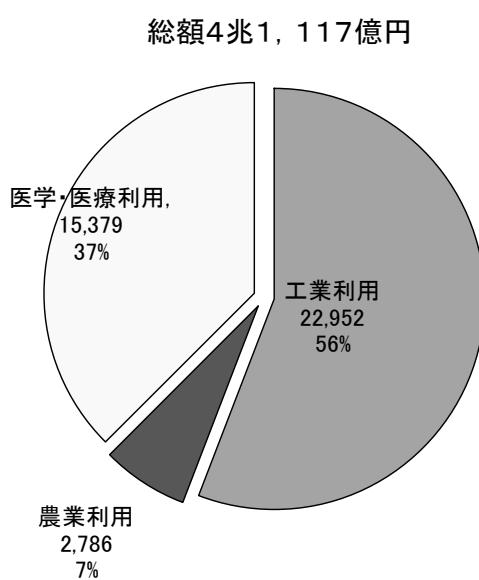


図4 工業、農業、医学・医療分野における放射線利用経済規模(億円)

(2) 平成9年度評価との比較

今回の調査において、平成9年度の評価値が一部不十分なものは再評価した。さらに、平成9年度の工業利用の評価においては、放射線利用の経済規模の大半を占めている半導体とラジアルタイヤについて、その売上高全額をもって算出していたことに関し、その妥当性を検討した。そして、それぞれに対し適切な放射線利用の寄与率を乗じて評価することが妥当であると判断した。その結果、表6に示す放射線利用の経済規模は平成9年度報告にある値の約半分となっている（詳細は本文参照）。

その上で、平成17年度と平成9年度における放射線利用とエネルギー利用の経済規模の比較にあたっては、比較可能なデフレータ補正を行い、その結果を表6のDef.カラムに示した。

放射線利用の経済規模では、平成9年度の3兆8,486対し平成17年度は4兆188億円と増加している。これは主として医学・医療利用分野における経済規模の拡大による。

エネルギー利用分野では、平成17年度が4兆6,341億円、平成9年度が5兆9,682億円である。この差異は、平成13年度の中電浜岡発電所1号機における冷却系配管の破損事故、平成14年度の東京電力の定期検査データの改竄、隠蔽、BWRの炉心シュラウドのひび割れ、平成16年度の関西電力の2次冷却系配管破断による死傷事故等が影響し、原子力発電プラントの平均稼働率が相当落ち込んだこと等が影響している。

放射線利用の経済規模は平成9年度と平成17年度の間で約1,800億円の増加があった。一方、エネルギー利用の経済規模は1兆3,300億円の減少となっている。このため、放射線利用とエネルギー利用の経済規模に関する相対割合は、平成9年度39%：61%に対し、平成17年度は46%：54%となる。