

JAERI-Data/Code
2003-015



JP0350566



高分子系材料の耐放射線特性とデータ集

2003年 9月

大強度陽子加速器施設開発センター
計画グループ

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

高分子系材料の耐放射線特性とデータ集

日本原子力研究所東海研究所大強度陽子加速器施設開発センター
計画グループ ※

(2003年7月28日受理)

本資料は大強度陽子加速器計画施設 (J-PARC) の各機器で使用が予想される各種高分子系材料の耐放射線特性について、既刊データの収録と合わせてまとめたものである。

日本原子力研究所 (原研) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は共同で J-PARC プロジェクトを進めている。J-PARC 加速器はビーム出力 1 MW の大強度陽子加速器のため、必然的に発生するロスビームが引き起こす材料の放射線損傷の影響に関し、広い範囲の機器について検討を必要としている。その使用予定材料、機器の耐放射線特性は施設稼働後の各装置の寿命・交換時期の評価、さらには保守作業に於ける作業員の放射線被曝予測評価に極めて重要である。

材料の耐放射線特性の検討では、使用目的により機械的、電氣的、真空的特性などが求められる。それらは放射線の種類・エネルギー、放射線の強度等の違いに大きく依存する。本資料では、前半に高分子系材料の一般的な特徴と放射線劣化メカニズム等について紹介し、後半に材料毎の耐放射線特性を系統別に紹介している。なお、収集したデータは、国内外で刊行された報告書からの抜粋とし、出典が明らかなもののみを扱った。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※ (編) 草野譲一・宇野喜智

Radiation Resistivity of Polymeric Materials with Data Tables

Planning group ※

Center for Proton Accelerator Facilities
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 28, 2003)

This document presents radiation resistivity of various polymeric materials with collected data tables, that are the candidate materials to be used in the High Intensity Proton Accelerator Facility Project, J-PARC.

The JAERI-KEK Joint Facility for High Intensity Proton Accelerators, called the J-PARC Project, is a new and exciting accelerator project in Japan which is to produce MW-class high power proton beams. The effect of radiation damage and deterioration by loss-beam or secondary particle beam influences the performance and the reliability of various instruments. The knowledge on the radiation resistivity of the instruments or materials is quite important characteristics to estimate the reliable life of the equipments, the maintenance interval and dose evaluation for the personnel at the maintenance period. The radiation damage consists of mechanical property, electrical property and gas-evolution property, and these properties depend entirely upon the kind of radiation, energy and dose intensity.

The first part of this document methodically introduces the general feature of polymer and its radiation-induced deterioration mechanisms, and the second part of the document shows the compiled data for irradiation effects of polymeric materials. The sources of the data are the published reports from the worldwide references.

Keywords: Polymeric Materials, Organic Compounds, Radiation Resistivity, High Intensity Proton Accelerator, Loss Beam, High Energy Charged Particles, Radiation Damage and Deterioration

※(Eds.) Joichi KUSANO, Yoshitomo UNO

目 次

まえがき	-----	1
第1章 「高分子材料と放射線損傷・劣化」概説	-----	2
1 高分子化合物とは	-----	3
a. 有機化合物	-----	3
b. 高分子化合物	-----	3
c. 有機材料の劣化	-----	5
2 高分子の劣化メカニズム	-----	6
a. 物質のエネルギー吸収	-----	6
・ 高エネルギー荷電粒子	-----	6
・ 高エネルギー電子	-----	7
・ X線・ γ 線	-----	7
・ 線種による違い（線質効果）	-----	7
b. 放射線損傷・劣化	-----	8
3 耐放射線性の評価	-----	9
a. 一般的な耐放射線性	-----	9
b. 全芳香族高分子	-----	11
c. 放射線酸化	-----	13
d. 照射環境温度の影響	-----	14
e. 線質効果	-----	17
4 環境条件と使用条件	-----	20
第2章 各種高分子系材料の耐放射線性データ集	-----	23
1 汎用熱可塑性樹脂	-----	25
2 エラストマー	-----	57
3 芳香族系熱可塑性樹脂	-----	69
4 芳香族ポリイミド	-----	100
5 CERN データ 1 エポキシ樹脂	-----	139
6 CERN データ 2 GFRP、CFRP	-----	160
7 耐放射線性マトリックス樹脂およびFRP	-----	183
8 陽子・高速重イオン照射効果	-----	216
9 発生ガス	-----	232
謝辞・あとがき	-----	238
付録 高分子系材料用語集	-----	239

Contents

Preface	-----	1
Chapter 1	Outline on Polymeric Materials and Radiation Deterioration	----- 2
1	Characteristics of Polymeric Materials	----- 3
	a. Organic Compounds	----- 3
	b. Polymeric Materials	----- 3
	c. Deterioration of Organic Materials	----- 5
2	Radiation-induced Deterioration Mechanisms of Polymers	----- 6
	a. Energy Absorption by Materials	----- 6
	• High Energy Charged Particles	----- 6
	• High Energy Electrons	----- 7
	• X-ray and Gamma-rays	----- 7
	• Effects of Kinds of Radiation Sources (LET Effects)	----- 7
	b. Radiation Damage and Deterioration	----- 8
3	Evaluation of Radiation Resistivity	----- 9
	a. Radiation Resistivity "In General"	----- 9
	b. Aromatic Polymers	----- 11
	c. Radiation Oxidation	----- 13
	d. Effects on Irradiation Temperature	----- 14
	e. LET Effects	----- 17
4	Application Condition	----- 20
Chapter 2	Data Tables on Radiation Resistivity of Various Polymeric Materials	----- 23
1	Arifatic Thermoplastics	----- 25
2	Elastomers	----- 57
3	Aromatic Thermoplastics	----- 69
4	Aromatic Polyamides	----- 100
5	CERN Data 1 Epoxy Resins	----- 139
6	CERN Data 2 GFRP and CFRP	----- 160
7	Matrix Resin and FRP with High Radiation Resistivity	----- 183
8	Irradiation Effect by Proton and Heavy Ions	----- 216
9	Gasses evolution	----- 232
Acknowledgment and Postscript		----- 238
Appendix	Terminology on Polymeric Materials	----- 239

収録データ詳細一覧 1/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
Group 1	汎用熱可塑性樹脂概論		25
	汎用熱可塑性樹脂の分子構造		26
PE-1	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-7000F	PE密度 0.956 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	27
PE-2	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-5000S	PE密度 0.954 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	28
PE-3	高圧法低密度ポリエチレン M16P	PE密度 0.923 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	29
PE-4	ブテエン1共重合低密度ポリエチレン NZ-2015M	PE密度 0.923 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	30
PE-5	4-メチルペンテン共重合低密度ポリエチレン UZ-2021L	PE密度 0.922 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	31
PE-6	超高分子量ポリエチレン HZ-Million	PE密度 0.935 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	32
PE-7	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-7000F	PE密度 0.956 γ 線 4.5 kGy/h 0.5MPa酸素加圧	33
PE-8	高圧法低密度ポリエチレン M16P	PE密度 0.923 γ 線 4.5 kGy/h 0.5MPa酸素加圧	34
PE-9	4-メチルペンテン共重合低密度ポリエチレン UZ-2021L	PE密度 0.922 γ 線 4.5 kGy/h 0.5MPa酸素加圧	35
PE-10	超高分子量ポリエチレン HZ-Million	PE密度 0.935 γ 線 8 kGy/h 窒素気流中	36
PE-11	ポリエチレン DFDM 6005	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	37
XPE-1	原子炉電線用配合 架橋ポリエチレン	γ 線10 kGy/h 空气中, 2.8 kGy/h 1MPa酸素加圧	38
XPE-2	DCP架橋メタロセンポリエチレン 密度0.935, 0.875	電子線、線量率; 3 k Gy/1pass、空气中	39
XPE-3	DCP架橋メタロセンポリエチレン 密度0.935, 0.875	γ 線 4.2 kGy/h、0.5 MPa酸素加圧	40
PP-1	ポリプロピレン	電子線 2.5 kGy/s He気流中	41
PET-1	ポリエチレンテレフタレート (PET)	電子線 2.5 kGy/s He気流中	42
PET-2	ポリエチレンテレフタレート (PET)	京大原子炉照射 照射温度; 20K	43
PET-3	ポリエチレンテレフタレート (PET)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	44
PTFE-1	ポリテトラフルオロエチレン (PTFE・テフロン)	γ 線4K照射, 27kGy/h γ 線RT照射, 8kGy/h	45
PVdF-1	ポリフッ化ビニリデン (PVdF)	電子線 2.5 kGy/s He気流中	46
ETFE-1	四フッ化エチレン-プロピレン共重合体 (ETFE)	電子線 2.5 kGy/s He気流中	47
PVC-1	原子炉電線用配合ポリ塩化ビニル	γ 線 10 kGy/h 空气中, 2.8kGy/h 1MPa 酸素加圧	48
PVC-2	可塑化ポリ塩化ビニル	γ 線 2.6kGy/h (空气中, 0.5MPa酸素加圧, 真空中)	49
Nylon-1	ナイロン - 6	電子線 2.5 kGy/s He気流中	50
Nylon-2	ナイロン - 6、ナイロン - 12	γ 線5kGy/h 真空中, 1.2kGy/h 0.7 MPa酸素加圧	51
EVA-1	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)酢ビ20%含有	γ 線 4kGy/h 窒素気流中, 0.5MPa 酸素加圧	52
EVA-2	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)酢ビ15%含有	γ 線 4kGy/h 窒素気流中, 0.5MPa 酸素加圧	53
EVA-3	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)酢ビ8%含有	γ 線 4kGy/h 窒素気流中, 0.5MPa 酸素加圧	54
EVA-4	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)酢ビ5%含有	γ 線 4kGy/h 窒素気流中, 0.5MPa 酸素加圧	55
EVA-5	エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	56
Group 2	エラストマー概論		57
	エラストマーの分子構造		58
Elast-1	天然ゴム	γ 線10kGy/h 空气中, 5kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧	59
Elast-2	ハイパロン (SCM; クロルスルホン化ポリエチレン)	γ 線10kGy/h 空气中, 5kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧	60
Elast-3	ハイパロン (原子炉用電線配合)	γ 線10kGy/h 空气中, 2.8kGy/h 1MPa酸素加圧	61

収録データ詳細一覧 2/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
Elast-4	アクリルゴム	γ線10kGy/h 空气中, 5kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧	62
Elast-5	ニトリルゴム	γ線10kGy/h 空气中, 5kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧	63
Elast-6	エチレン-プロピレンゴム(EPDM) CB 20phr	電子線 2.5 kGy/s He気流中	64
Elast-7	エチレン-プロピレンゴム (EPDM)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	65
Ure-1	熱可塑性ポリウレタンエラストマー (ジイソシアネート+ポリエーテル系ポリオール(38%))	γ線 10kGy/h 空气中 および γ線 4.6kGy/h 0.7MPa 酸素加圧下	66
Ure-2	熱可塑性ポリウレタンエラストマー (ジイソシアネート+カプロ系ポリオール(38%))	γ線 10kGy/h 空气中 および γ線 4.6kGy/h 0.7MPa 酸素加圧下	67
Ure-3	熱可塑性ポリウレタンエラストマー (ジイソシアネート+エステル系ポリオール(38%))	γ線 10kGy/h 空气中 および γ線 4.6kGy/h 0.7MPa 酸素加圧下	68
Group 3	芳香族系熱可塑性樹脂概論		69
	芳香族系熱可塑性樹脂の分子構造		70
ATP-1	非晶性及び結晶性PEEK	電子線 6.1~6.7 kGy/s He気流中	71
ATP-2	非晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	電子線 5 kGy/s、空气中	72
ATP-3	非晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	73
ATP-4	非晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	γ線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150°C照射	74
ATP-5	非晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	76
ATP-6	結晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	電子線 5 kGy/s、空气中	77
ATP-7	結晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	78
ATP-8	結晶性PEEK Aromatic Poly(ether-ether-keton)	γ線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150°C照射	79
ATP-9	U-Polymer Aromatic Polyester	電子線 5 kGy/s、空气中	81
ATP-10	U-Polymer Aromatic Polyester	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	82
ATP-11	U-Polymer Aromatic Polyester	γ線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150°C照射	83
ATP-12	Udel-PSF Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone	電子線 5 kGy/s、空气中	85
ATP-13	Udel-PSF Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	86
ATP-14	Udel-PSF Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone	γ線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150°C照射	87
ATP-15	Udel-PSF(based on Udel P3500)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	89
ATP-16	PES Aromatic Poly-ethersulfone	電子線 5 kGy/s、空气中	90
ATP-17	PES Aromatic Poly-ethersulfone	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	91
ATP-18	PES Aromatic Poly-ethersulfone	γ線 窒素気流中 50, 100, 150°C照射	92
ATP-19	PES(based on VICTREX)	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	94
ATP-20	A-Film Aromatic Polyamide	電子線 5 kGy/s、空气中	95
ATP-21	A-Film Aromatic Polyamide	γ線 5kGy/h 0.7 Mpa 酸素加圧	96
ATP-22	A-Paper	電子線 5 kGy/s、空气中	97
ATP-23	NOLYL	電子線 5 kGy/s、空气中	98
ATP-24	PPS	京大原子炉照射 照射温度 ; 20K	99

収録データ詳細一覧 3/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
Group 4	芳香族ポリイミド概論		100
	芳香族ポリイミドの分子構造		100
IM-1	Kapton 500H Pyromellitimide type	電子線 6.1~6.7 kGy/s He気流中	100
IM-2	Kapton 500H Pyromellitimide type	電子線 5 kGy/s 空气中	100
IM-3	Kapton 500H Pyromellitimide type	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	100
IM-4	Kapton	γ線 17 kGy/h 窒素気流中 and 空气中	110
IM-5	Kapton 500H Pyromellitimide type	原子炉照射 照射温度 77K(Russia)/RT(Austria)	110
IM-6	Kapton 500H Pyromellitimide type	γ線 7.5 kGy/h 180°C 窒素気流中	110
IM-7	Kapton 500H Pyromellitimide type	電子線 5 kGy/s 空气中, 特性測定温度; 3点	110
IM-8	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	電子線 6.1~6.7 kGy/s He気流中	110
IM-9	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	電子線 5 kGy/s 空气中	110
IM-10	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	110
IM-11	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 17 kGy/h 窒素気流中 and 空气中	110
IM-12	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 7.5kGy/h 180°C 窒素気流中	110
IM-13	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	電子線 5 kGy/s 空气中	120
IM-14	UPILEX-S Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 17 kGy/h 窒素気流中 and 空气中	120
IM-15	UPILEX-S Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	電子線 5 kGy/s 空气中	120
IM-16	UPILEX-S Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	120
IM-17	UPILEX-R Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 17 kGy/h 窒素気流中 and 空气中	120
IM-18	UPILEX-S Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	γ線 7.5kGy/h 180°C 窒素気流中	120
IM-19	UPILEX-S Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type	電子線 5 kGy/s 空气中, 特性測定温度; 3点	120
IM-20	Novax m/n = 80/20 共重合型ポリイミド	電子線 5 kGy/s 空气中	120
IM-21	Novax m/n = 80/20 共重合型ポリイミド	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	130
IM-22	Novax m/n = 50/50 共重合型ポリイミド	電子線 5 kGy/s 空气中	130
IM-23	Novax m/n = 50/50 共重合型ポリイミド	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	130
IM-24	Ultem 1000 ポリエーテルイミド (熱可塑性)	電子線 5 kGy/s 空气中	130
IM-25	Ultem 1000 ポリエーテルイミド (熱可塑性)	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	130
IM-26	Ultem	γ線 17 kGy/h 窒素気流中 and 空气中	130
IM-27	Ultem 1000 ポリエーテルイミド (熱可塑性)	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	130
IM-28	AURUM 熱可塑性	電子線 5 kGy/s 空气中	130
IM-29	AURUM 熱可塑性	電子線 5 kGy/s 空气中, 特性測定温度; 4点	130
IM-30	AURUM フィルム 熱可塑性	電子線 5 kGy/s 空气中	140
IM-31	AURUM フィルム 熱可塑性	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	140
IM-32	REGULUS-P, N	γ線 1.39Gy/s (5kGy/h) 0.7MPa 酸素加圧	140
IM-33	LARC TPI 1500	電子線 5 kGy/s 空气中	140
Group 5	CERN Data 1 (エポキシ樹脂概論)		140
	エポキシ樹脂の分子構造		140

収録データ詳細一覧 4/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
EPO-1	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 MY 745(50)+EPN 1138(50)+CY 221(20)+HY 905(120)+DY 073(0.3)	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	140
EPO-2	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 MY 745(100)+HY 906(90)+DY 073(1.5)	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	140
EPO-3	エポキシ樹脂 XB 3192	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	140
EPO-4	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Durotenax	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	140
EPO-5	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Durotenax Art. 521-02	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	150
EPO-6	ビスフェノールA系エポキシ樹脂	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EPO-7	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Scotchcast 281	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EPO-8	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Scotchcast 824	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EPO-9	エポキシ樹脂 Vetronite	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	150
EPO-10	エポキシ樹脂 XNR 4153/XNH 4153	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	150
EPO-11	エポキシ樹脂 AS/37-3(Ciba-Geigy)	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EM-1	Epoxy moulding compound Araldite NU 460	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EM-2	Epoxy moulding compound Araldite NU 461	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	150
EM-3	Epoxy moulding compound Araldite NU 471	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	150
EM-4	Epoxy moulding compound Araldite NU 511	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	160
EM-5	Epoxy moulding compound Araldite F	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	160
EM-6	Epoxy moulding compound Araldite AV/HV 1580 GB	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	160
EM-7	Epoxy moulding compound	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	160
EM-8	Epoxy moulding compound Maramid 5292 A/B(M5.500/1	原子炉照射 and ガンマ線照射 3点曲げ試験	160
Group 6	CERN Data 2 (GFRP、CFRP概論)		160
GFRP-1	Epoxy + glass mat	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	160
GFRP-2	Epikote + Aramid fiber Arenka 900 (Enka)	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	160
GFRP-3	Epoxy + glass fiber Vetresit 1101	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	160
GFRP-4	Epoxy(cycloaliphatic) + roving glass "Vetresit 312"	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	160
GFRP-5	Epoxy(cycloaliphatic) + glass mat	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-6	Epoxy resin + glass tape Epoxy based on Phenol novolac(EPN 1138, Ciba-Geigy), tape ; Samicapor 326.95-47X	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-7	Epoxy resin + glass tape Epoxy based on Phenol novalc(EPN 1138, Ciba-Geigy) tape ; Samicapor 326.96-86X	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-8	Epoxy resin + glass fabric "G-Ektronax EP 11"	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-9	Epoxy laminate-prepreg "Isopreg EP spess 0.33"	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-10	Epoxy laminate-prepreg ACO1 + GLASS A	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-11	Epoxy laminate-prepreg ACO2 + GLASS A	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-12	Epoxy laminate-prepreg ACO1 + GLASS B	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170
GFRP-13	Epoxy laminate-prepreg ACO2 + GLASS B	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	170

収録データ詳細一覧 5/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
GFRP-14	Epoxy-GF Prepreg "Vtronite Epoxy G11"	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	170
GFRP-15	Epoxy-GF Prepreg "Vetronite"	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	180
KFRP-1	Epoxy + GF + Kevlar Prepreg	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	180
CFRP-1	Epoxy CFRP (MY 720/HT 978+67.8% fiber) unidirection	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	180
CFRP-2	Epoxy CFRP 8 layers of fiber mat	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	180
CFRP-3	Epoxy CFRP 8 layers of fiber mat	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	180
CFRP-4	Epoxy CFRP 8 layers of Prepreg "Fiberdux 91"	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	180
CFRP-5	Epoxy CFRP "Vicotex M 10 G 1071"	原子炉照射 照射温度 RT 3点曲げ試験	180
CFRP-6	Epoxy + CF	原子炉照射 照射温度 77K/RT 3点曲げ試験	180
Group 7	耐放射線性マトリックス樹脂及びFRP概論		180
	マトリックス樹脂等の分子構造		180
EPOJ-1	2官能・4官能エポキシ樹脂	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
EPOJ-2	ビスフェノールFエポキシ樹脂	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
EPOJ-3	テトラグリシジル系エポキシ樹脂	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
EPOJ-4	BT-resin	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
EPOJ-5	PMR-15	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
EPOJ-6	PBI樹脂	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
GFRPJ-1	ビスフェノールF GFRP	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
GFRPJ-2	TGDDM-DDM GFRP	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
GFRPJ-3	BT-resin GFRP	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
GFRPJ-4	TETRADX-無水ナジック酸 GFRP	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	190
GFRPJ-5	TETRADX-エピキユア-Z GFRP	2MeV電子線5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	200
GFRPJ-6	DGEBA-DDM GFRP 測定温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-7	TGDDM-DDS GFRP 測定温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-8	ポリイミド GFRP 測定温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-9	G-10 CR 測定温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-10	G-11 CR 測定温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-11	G-10 CR 照射温度依存性	γ線 20kGy/h 3点曲げ測定; RT, 77K, 4K	200
GFRPJ-12	GFTGDDM-DDS 高速中性子照射効果	中性子(IPNS) and γ線 20kGy/h 空气中	200
GFRPJ-13	GF/ポリイミド 高速中性子照射効果	中性子(IPNS) and γ線 20kGy/h 空气中	200
GFRPJ-14	GF/BT-resin	2MeV電子線4.5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	200
GFRPJ-15	GF/Polyetheramide	2MeV電子線4.5 kGy/s 空气中 (水冷板上冷却)	210
CFRPJ-1	T-300/6301(TORAY) CFRP	電子線5 kGy/s 空气中 測定;137K,RT,373K	210
CFRPJ-2	IM-6/R6376(Ciba-Geigy) CFRP	電子線5 kGy/s 空气中 測定;137K,RT,373K	210
CFRPJ-3	M-50J/2500 Prepreg(TORAY) CFRP	電子線5 kGy/s 空气中 測定;77K,RT,~373K	210
CFRPJ-4	T-800H12U145/8010-37C Prepreg (YRC)	電子線5 kGy/s 空气中 測定;77K,RT,~523K	210
CFRPJ-5	CF/PEEK FRP	電子線5 kGy/s 空气中 測定;77K,RT,~453K	210

収録データ詳細一覧 6/6

Data Sheet No.	材 料 名	備 考 (照 射 条 件 等)	頁
CFRPJ-6	CF/熱可塑性ポリイミド FRP	電子線5 kGy/s 空气中 測定;137K,RT,373K	210
Group 8	陽子、高速重イオン照射効果		220
Ion-1	ポリプロピレン	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-2	ポリエチレンテレフタレート (PET)	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-3	エチレン-プロピレン共重合体 (ETFE)	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-4	ナイロン-6	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-5	ポリフッ化ビニリデン(PVdF)	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-6	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-7	可塑性ポリ塩化ビニル (PVC)	2MeV電子線(2.5kGy/s) vs. 8MeV陽子	220
Ion-8	ポリメチルメタクリレート(PMMA)	γ 線 5kGy/h vs. 30, 45MeV陽子	220
Ion-9	ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)	γ 線 5kGy/h vs. 30, 45MeV陽子	230
Ion-10	中密度 ポリエチレン M16P	電子線5 kGy/s vs. 10MeV陽子,50MeV He2+	230
Ion-11	ポリエーテルスルホン(PES)	電子線5 kGy/s vs. 10MeV陽子,50MeV He2+	230
Ion-12	ユーテルポリスルホン(U-PS)	電子線5 kGy/s vs. 10MeV陽子,50MeV He2+	230
Group 9	発生ガス		230
Gas-1	ポリエチレン及びポリプロピレンのモデル物質としてのn-パラフィンとスクラオン	真空中 γ 線照射によるガス発生	230
Gas-1	低密度 P E	γ 線照射によるガス発生	230
Gas-1	P E	酸素存在下、 γ 線照射による酸素消費のG値	230
Gas-2	アイソタクチックPP(I-PP)とアタクチックPP(A-PP)	真空中照射 発生ガスのG値	230
Gas-2	ポリプロピレン	酸素中照射 酸素の消費とガス発生	230
Gas-2	E P D M	真空中照射 ガス発生	230
Gas-3	E P D M	真空中照射 ガス発生	240
Gas-3	酸化防止剤を含む E P D M	真空中照射 ガス発生	240
Gas-3	純ポリ塩化ビニル(PVC)パウダー、PVCフィルム	真空中および酸素存在下 200kGy γ 線照射後のガス発生	240
Gas-4	ポリ塩化ビニル(PVC)パウダー	真空中および酸素存在下 10kGy γ 線照射後のガス発生	240
Gas-4	クロルスルホン化ポリエチレン(SCM)パウダー	真空中および酸素存在下 10kGy γ 線照射後のガス発生	240
Gas-5	加速器周辺で使用される高分子のガス発生量	ガス発生量 (ml/g/10MGy) および ガス組成	240
Gas-5	各種ポリイミド及び芳香族高分子	真空中 γ 線照射 ガス発生	240
Gas-5	ポリメチルメタクリレート	極低温度 (77K) ガス発生	240
Gas-5	DGEBA/DICYガラス繊維強化プラスチック	極低温度 (77K) ガス発生	240

まえがき

日本原子力研究所（原研）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）は共同で大強度陽子加速器計画施設建設（J-PARC プロジェクト）を進めている。J-PARC はビーム出力 1 MW というかつて無い規模の大強度陽子加速器であり、ロスビームが及ぼす放射線ダメージの影響に関し、広い範囲の機器について検討を必要としている。その使用予定材料、機器の耐放射線特性は施設稼働後の各装置の寿命・交換時期の評価、及び保守作業に於ける作業員の放射線被曝予測評価に極めて重要である。

今回整備した高分子系材料の耐放射線特性資料の作成目的は J-PARC で使用予定各種材料についての仕様検討に役立てるものであり、収集したデータは、国内外で刊行された報告書からの抜粋とし、出典が明らかなもののみを扱った。材料の耐放射線特性を検討する場合、放射線の種類・エネルギー、放射線の強度等を考慮する必要がある。さらに、検討範囲は本資料の高分子系材料以外にも、セラミックス、半導体回路、金属およびそれらの集合体までが対象となることは言うまでもない。高分子系以外の材料についても、J-PARC プロジェクトメンバーがそれぞれ担当する材料・部品等について、現在、精力的にその耐放射線特性を試験中である。これら高分子系以外の材料についてのデータは、評価を終えたものについて、今後順次とりまとめ、本報告資料のシリーズとして発刊していく予定である。

本資料で耐放射線特性を紹介する高分子系材料は、使用される範囲が広いこと、及び、材料選択を誤ると致命的にその材料本来の機能を失う恐れがあることなどがあり、これらについての既報データを取りまとめ、系統的に整理した。同じ材料について似たようなデータが多数在るように見えるものもあるが、照射条件（空間線量率、環境温度など）の違い、及び、試験項目（機械強度、ガス発生率など）の違いがあることから、本資料からの耐放射線特性判断には、データシートに記載されている諸条件を十分に確認してから検討を進める必要がある。

また、本資料は素材のデータを示してあるが、実使用環境では多くの素材が種々の材料との組合せ状態にあり、更に雰囲気温度、雰囲気ガス/液体などの複合環境下での放射線劣化を検討する必要がある。また、周囲材料からの 2 次電子の影響などにより必ずしも本資料に示した特性とは異なる場合があり得る。そのため、選択対象とする材料が実使用環境と期待する耐久性の判断からは、あまり余裕の無い条件・特性値と推定される場合には、可能な限り装置・部品製作に取りかかる前にテストピース等による実照射試験を行い、その健全性を確認しておくことが望ましい。

尚、本資料では、前半に高分子系材料の一般的な特徴と放射線劣化メカニズム等について紹介し、後半に材料毎の耐放射線特性を系統別に紹介している。放射線劣化現象についても機械的特性、電気的特性、真空的特性と多岐に亘り、放射線の線質による違いが目立つものがあるが、本資料では放射線劣化現象の発生する尺度を吸収線量とし、その材料についての一般的使用目的別のデータを示した。

第1章 「高分子材料と放射線損傷・劣化」 概説

高分子系材料は、1950年代には電気絶縁材料、包装資材や一部の家庭用品として使用されていたが、現在では航空機の構造材料に用いられるほど高性能化するとともに、小型化・集積化が進んで発熱量が大きくなった電子計算機をはじめとする電子機器類のハウジングに使用されるほど耐熱性も向上している。

原子炉や加速器環境で使用される機器類の電気絶縁材料やシール材として高分子材料が使用されてきた。人工衛星などの宇宙環境用機器でも熱制御材に高性能プラスチックフィルムや太陽電池パドルなどの構造材料に炭素繊維複合材料 (CFRP) が使用されている。これらは高温～極低温の繰り返し熱衝撃と電子や重イオン照射に耐えることが要求される。また、磁気閉じこめ型の核融合炉では、超伝導電磁石の絶縁材料としてガラス繊維強化複合材料(GFRP)や絶縁材料が使用される。極低温下で大線量に耐えることが必要である。

現在、計画が進行中の大強度陽子加速器施設『J-PARC』では高速中性子と γ 線が存在する環境で、電磁石の絶縁材料にGFRPが、目的に応じて各種高分子系材料が使用される。

核融合炉の開発と国際宇宙基地建設に向け、1980年代後半から1990年中頃まで耐放射線性試験とそれに基づいた材料開発とが行われた。この時期に超耐放射線性有機材料が出そろった感がある。この資料の第1章では、加速器研究者・技術者には縁が薄いと思われる高分子系材料そのものの簡単な記述と一般的な放射線損傷・劣化について述べる。

1. 高分子化合物とは

a. 有機化合物

＜有機化合物の物理的・化学的な性質は、それを構成する元素、組成、分岐や不飽和結合のあるなしなどの分子構造に依存して変わる＞

無機物質の代表である金属やセラミックスは金属結合やイオン結合と呼ばれる完全には固定していない結合でできている。そのため、“分子”という概念は希薄であり、その物性は元素組成と該当する元素が結晶のどの位置に入っているかで決まる。これに対して、有機物は、水素、炭素、酸素などの原子番号の小さい元素がしっかりと結合（共有結合）してできている物質である。炭素と水素だけから構成されている化合物でも結合の仕方や分子量が変わると、全く違った物理的、化学的性質を示すのが有機化合物の特徴である。

炭素数6の飽和炭化水素では図1に示す構造が考えられる。これらは実在する化合物であり、図中に示したように、分子構造が変わると沸点や融解温度などの物性が変化する。さらに、枝別れがあると物性値が変わるし、その位置が違って物性値が変わっている。

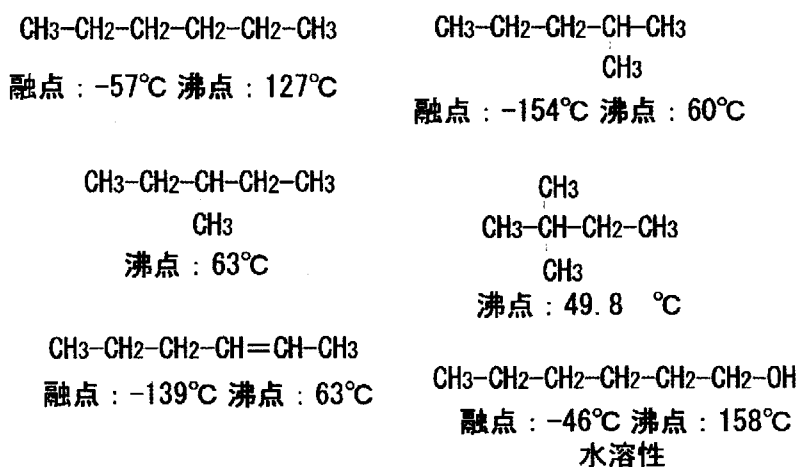


図1. C₆有機化合物の分子構造と物性

これらの炭化水素は水に溶解しないが、分子末端の水素が水酸基(OH)に置き替わった化合物（右下）は水溶性になる。また、二重結合（不飽和結合）があると沸点や融解温度などの物性が変わっている。

b. 高分子化合物

＜高分子の高分子らしさは分子量が大きいことから発現する＞

“水素、炭素、窒素、酸素といった軽元素から構成されており、分子量が非常に大きい有機化合物”が高分子材料の一つの定義であろう。高分子の高分子らしさ、例えば引っ張ると良く伸びるとか、色々な形に成形できるとかは、主に分子量が非常に大きいことから発現している。

C_2H_6 という分子構造のエタンは常温・常圧でガスであるが、これが5個連なった $C_{10}H_{22}$ というパラフィンの仲間（デカン）は常温・常圧では固体である。しかし、融点は低く非常に脆い物質である。ポリエチレンはエチレン $CH_2=CH_2$ が1000個以上連なってできた（重合という）“大きな分子量を持つパラフィン”と言える物質である。これは、融点 $120^{\circ}C$ 前後のしなやかで良く伸びる物質である。重合する前の化合物、例えば $CH_2=CH_2$ はモノマー（単量体）と呼ばれ、高分子に組み込まれると、 $-CH_2-CH_2-$ となり、繰り返し単位と呼ばれる。

＜高分子の個性は繰り返し単位の性質に依存する＞（図2）

高分子はそれぞれ個性を持っている。ポリエチレンはしなやかで良く伸びるので、電線の被覆材料や包装材料に用いられる。ポリスチレンは固くてやや脆いが、透明であるので有機ガラスとして用いられる。ポリエチレンの水素を全てフッ素に置き換えたポリテトラフルオロエチレンは（PTFE テフロン）は、融解温度が極めて高く、耐薬品性に優れた高分子である。これらの個性はその高分子を構成している繰り返し単位の性質によって決まる。2種類以上の繰り返し単位を混ぜて重合する（共重合という）とそれぞれの性質を持ち合わせた高分子を合成することも可能である。

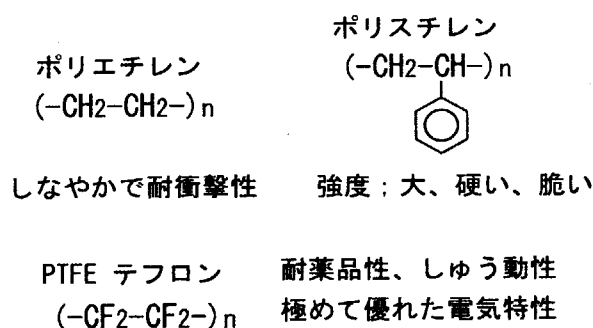


図2. 高分子の個性はその繰り返し単位の性質で決定される

＜高分子の物性は高次構造を通して発現する＞

繰り返し単位の構造、分子量の大小、枝分かれ、橋架けや不飽和結合のあるなしやその量などの分子構造を「一次構造」と呼ぶ。繰り返し単位が同じで、しかも分子量が同じであれば、みんな同じ性質を示すかと言うとそうでもない。合成の途中で枝分かれしたり、不飽和結合ができたりすると図1から容易に想像できるように性質が変わってくる。

固体中での分子鎖の詰まり具合、例えば整然と詰まっているか、粗く（ルーズ）に詰まっているかでも物性が変わる。整然と詰まっている場合には一定の空間位置に原子が配置された結晶状態となる。結晶している高分子の方が弾性率や強度が高いのが一般的である。

結晶できるかどうかは一次構造に依存する。ポリエチレンのような単純な繰り返し単位

を持っていれば結晶できるが、 $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ が重合したポリ塩化ビニル (PVC) では $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-$ の順で全てが並べば結晶できるが、 $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-(\text{CHCl}-\text{CH}_2)-$ が分子鎖にランダムに入ると結晶できなくなり非晶性の高分子となる (通常、非晶性の PVC が使われる)。

結晶化できる分子構造を持つ高分子でも、結晶と非晶が混在しているのが一般的である。これも分子量が非常に大きいことに起因している。結晶と非晶の割合 (結晶化度) が違っていても性質が変わることは想像に難くない。結晶しているかどうか、結晶化度がどの位か、結晶の大きさやその秩序正しさ (結晶性) はどうかなどの固体構造を「高次構造」と呼んでいる。高分子鎖に枝分かれや不飽和結合が含まれていると、結晶し難くなることも容易に想像される。高分子の性質は一次構造で一義的に決まるのではなく、高次構造を通して発現することになる。

<成形条件でも物性が変化する>

普通、高分子材料は加熱し・融解して一定の形に成形して用いる。高次構造はこのときに発現する。分岐や橋架け点があれば、結晶化度は低く、結晶性も良くなる。高次構造は一次構造のみに依存して変わるかと言うとそうでもない。熔融状態から冷却して個体にするときの冷却速度が違って結晶性や結晶化度が変わるし、非晶性高分子では分子鎖の充填状態 (パッキング状態) が変わって、物性が変わってくる。このように高分子は基本的な分子構造が同じでも色々なバリエーションを持った材料として使うことができる。

c. 有機材料の劣化

<一次構造の変化の結果、高次構造が変わり、物性が変化する>

金属材料やコンクリートも長年使用していると、錆びたり、風化したりする。これは酸化やその他の化学反応によりもたらされる劣化である。また、繰り返し応力が加わると、やがて破断してしまう。金属疲労と呼ばれるもので金属結晶の転移が引き金になっている。前者は化学的な劣化と呼ぶべきものであり、後者は物理的な劣化と呼んでよいものである。

高分子でも同じで、化学的な劣化と物理的な劣化がある。しかし、高分子は弾性体であると同時に粘性を持つ物質である。繰り返し応力を受けても、粘性的に応力を緩和してしまいう性質 (粘弾性的性質) を持っているので、劣化はもっぱら化学的な変化に起因して起こる。

ポリバケツを屋外に放置しておくと、少し力を加えただけで壊れてしまうようになる。室内で使用しているときには長期間に亘り使用できるので、太陽光線の照射、熱や雨水により劣化が促進されたのであろう。調べてみると、分子鎖が切れて分子量が低下 (主鎖切断) していたり、切れた分子が他の分子に結合していたり (架橋)、それ迄なかった酸化生成物や不飽和結合ができていたりする。これは光の照射や加熱がきっかけとなり、色々な反応が起こり、分子構造が変わりそれに伴い高次構造が変化して機械的な特性が低下したためと理解される。

＜高分子に限らず有機材料の劣化は主に分子鎖の切断、架橋、酸化物や不飽和結合の生成など分子構造の変化によりもたらされる＞

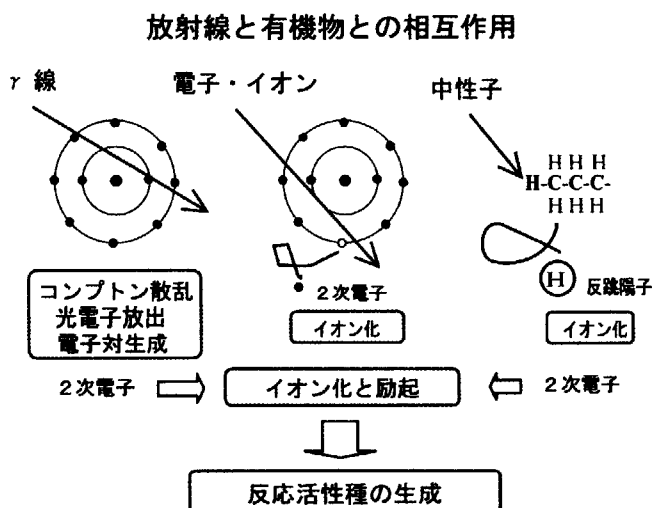
有機化合物では分子構造が変わると別な物質となり、違った性質を示すようになるので、無機物質に比べて性質の変化が大きい。放射線照射による劣化も光や熱による劣化とは大きく変わらず、そのきっかけが放射線であると言うだけである。ただ、光劣化の場合は光が表面近傍で吸収され、表面のみが劣化し徐々に内部まで劣化が進むが、 γ 線のように透過力のある放射線照射の場合には内部まで劣化が進行する。

2. 高分子の劣化メカニズム

a. 物質のエネルギー吸収^[1]

＜物質と放射線の相互作用で生じた二次電子がイオン化や電子励起を誘起する＞

物質中を放射線が通過すると、物質がエネルギーを吸収し、放射線は徐々にエネルギーを失う。エネルギーを吸収した物質の内部では、化学反応の引き金となる反応活性種であるイオンやラジカルが生じる。 α 線のような重い荷電粒子、電子、 γ 線では有機物中でのエネルギーの吸収の仕方が違うが、最終的にはイオンやラジカルを生成させることには変わりない。図3に各種の放射線と有機物との相互作用を模式的に示す。



[高エネルギー荷電粒子]

重い荷電粒子が物質中を通過するときには、原子核との相互作用はそれほど大きくなく、もっぱら物質を構成する原子の核外電子との非弾性的衝突によりエネルギーを失う。この過程で荷電粒子の飛跡近傍にある分子はイオン化を起こしたり、エネルギーを蓄えた状態（励起状態）になったりする。

[高エネルギー電子]

高エネルギーの電子が物質中を通過するときのエネルギー損失もやはり原子核との相互作用と媒体分子の核外電子との飛弾性散乱による。両者の割合は電子のエネルギー (E; MeV単位) と媒質の原子番号 (Z) に依存し、電子のエネルギーが 1MeV 程度の時は、原子核との相互作用の割合は $EZ/800$ 程度である。したがって、鉛のような原子番号の大きな重い元素からなる物質中を通過するときには、核との相互作用は無視できないが、炭素や水素などの軽元素で構成されている有機化合物では原子核との相互作用は無視でき、エネルギー損失は核外電子との相互作用がほとんどであると考えてよい。

[X線・ γ 線]

X線や γ 線のような電磁波性放射線と物質との相互作用は、Compton 散乱、電子対生成、光電効果である。X線や γ 線はこの過程で多数の二次電子を発生させ、自らは消滅（光電効果、電子対生成）するか、あるいは媒体外に出てしまう（Compton 効果）。この二次電子は高速の荷電粒子や電子と同様に、媒体分子をイオン化したり、電子を励起したりする。結局、X線や γ 線のような電磁波性放射線の作用も高エネルギーの荷電粒子の作用と大きく変わらない。

[線種による違い（線質効果）]

放射線が物質中を通過すると、その飛跡に沿って次々にイオン対を作るが、この直接作用によるイオン化（一次イオン化）の全イオン化に占める割合は少なく、一次イオン化で放出された二次電子（100 keV 以下）によるイオン化が大半を占める。この二次電子の作用により、一次イオン化によって生成したイオン対に接近して数個のイオン対ができる。このようなイオン対の集落をスパークあるいはスプール (Spur) と呼んでいる。このスプールの構造は放射線の種類で異なる。 γ 線や電子の場合は比較的粗いスプールであるが、高エネルギーの荷電粒子は高密度なスプールを作る。したがって、同じエネルギー吸収があっても放射線の種類が違えば活性種の空間分布が異なるため、違った照射効果を与えることがある。これを線質効果と呼んでいる。

古い報告では吸収線量の単位としてrad が用いられている。SI 単位では、物質 1 kg 当り 1 J のエネルギー吸収があったときを 1 Gy (グレイ) と定義している。

$$1\text{Gy} = 1\text{J}\cdot\text{kg} = 10^7\text{erg}\cdot\text{kg} = 100\text{rad} \quad \text{の関係がある。}$$

b. 放射線損傷・劣化

＜高分子系材料の劣化は無機物の劣化と本質的に違う＞

金属や無機材料ではそれを構成する原子がどんな結晶を作っているかにより発現されて

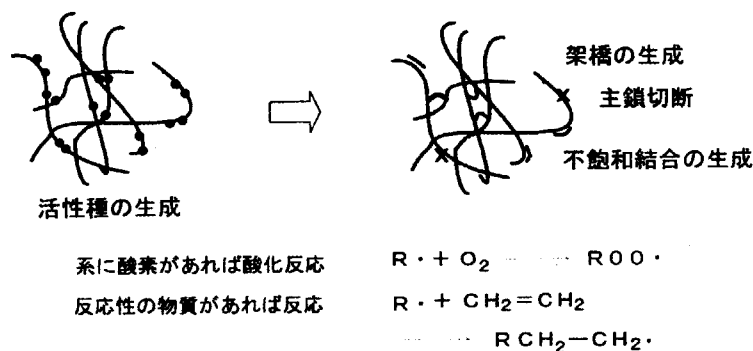


図4. 活性種性種が生じた後に引き続き起こる反応

いるので、放射線による損傷は、結晶格子にある原子が弾き飛ばされてできた結晶欠陥によると考えてよい。欠陥が少ないうちには、機械特性や電気的特性のような巨視的な性質は変化しないが、欠陥が増えてくると、種々の物性に影響を与えるようになる。

有機材料に放射線が照射されると、イオンやラジカルなどの化学反応の引金になる活性種が生成する。これがきっかけとなり、色々な反応が引続き起こり分子構造が変化する。これを図4に模式的に示す。この図は系に酸素が存在しない真空中や不活性ガス中で照射された場合のものであり、空気中で照射される場合には活性種と酸素の反応により放射線酸化反応が起こる。

放射線照射により誘起される反応のうち主鎖切断と架橋が強度や伸びなどの機械的特性に影響を与え、酸化生成物が電気的な性質に影響を与える。架橋が優先的に起こる（架橋型）のかあるいは切断が起き易い（崩壊型）のかは繰り返し単位の分子構造に依存する。種々の高分子について、古くからこの分類が行われており、表1のようにまとめられている。この分類は真空中あるいは不活性ガス中の照射で得られた結果であり、低い線量率の放射線を空気中で照射すると、架橋型に分類されている高分子も酸化切断が起き劣化する。

表 1. 主鎖切断型／架橋型高分子の分類

主鎖切断型	架橋型
Polyisobutylene	Polyethylene
Poly α methyl sulfone	Polypropylene
Poly(vinylene chloride)	Polystyrene
Poly(vinylene fluoride)	Poly(vinyl chloride)
Polytetrafluoroethylene	Poly(vinyl alcohol)
Poly(trichloro fluoroethylene)	Polyacrylonitrile
Poly(vinyl formal)	Polybutadiene
Poly(vinyl butyral)	Polychloroprene
Poly(methyl methacrylate)	Poly(styrene-acrylonitrile)
Polyacrylamide	Poly(styrene-butadiene)
Polyoxymethylene	Poly(butadiene-acrylonitrile)
Polypropylosulfide	Natural rubber
Polyethylensulfide	Chlorinated PE
Cellulose	Chlorosulfonated PE
Polyalanine	Polyamide
Polyricine	Polyester
DNA	Polyurethane
	Aliphatic polysulfone
	Polyacrylate
	Polyacrylamide
	Polyphenolformamide
	Polyureaformamide
	Poly(meramine formamide)

3. 耐放射線性の評価

放射線場で用いる有機材料を選定するには、先ずどの位の線量でどのくらい材料特性が低下するかを知っておく必要がある。対象とする特性値は構造材料であれば強度などの力学特性であるし、絶縁材料であれば電気抵抗や絶縁破壊電圧であり、パッキング材では復元力や永久歪などである。その他、発生ガスが腐食性であるかどうか、その量はどうかも問題になる。絶縁材料の場合には電気的特性はほとんど変化ない場合でも、機械的特性が低下して、亀裂や欠落が生じると、その使命を果たせなくなる。使用目的に合わせた評価が必要である。機械的特性の低下が放射線照射に敏感であり、電気特性の低下は機械的な特性が相当低下した後に現れることが多いことがこれまでの研究から明らかになっている。そのため、線量に対する機械的特性の変化に基づいて耐放射線性がスクリーニングされている。

a. 一般的な耐放射線性

高分子材料をはじめとする有機材料の耐放射線性および使用限界線量についての膨大な

データがこれまでに蓄積されている。これらは NASA、CERN (European Organization for Nuclear Research) [2] など多くの研究機関でまとめられている。日本では、電気学会が電気学会技術報告“耐放射線性誘電・絶縁材料の最近の動向” [3] としてまとめられている。

CERN でまとめられたケーブル材料、エラストマー、熱硬化樹脂についての“一般的な使用限界線量”を図5(a)~(c)に示す。

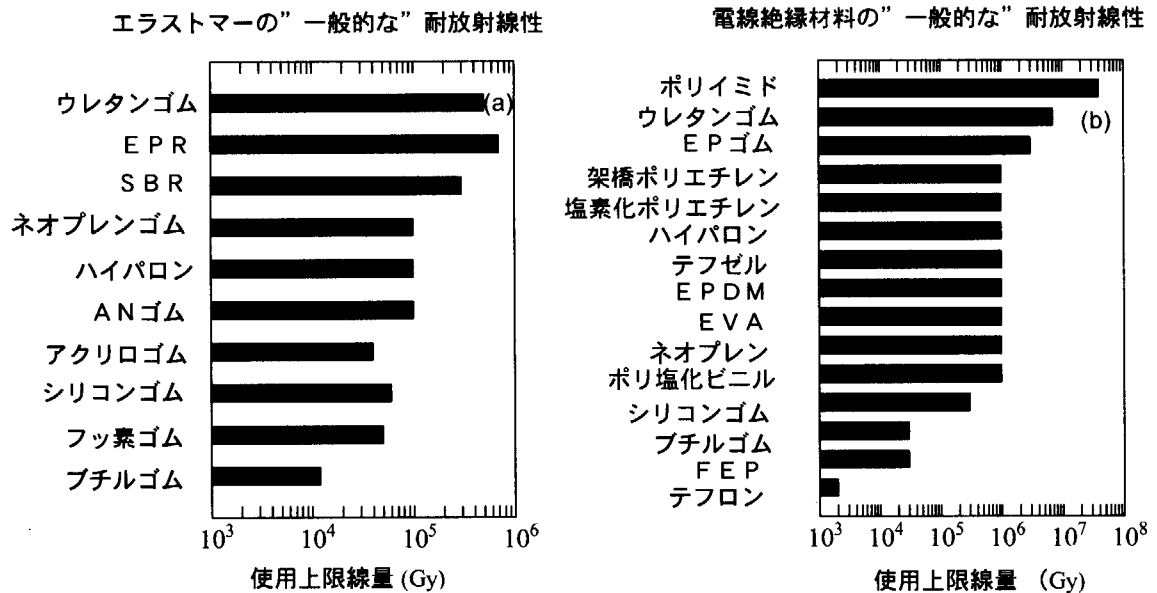


図 5-1. CERNでまとめられた“一般的な耐放射線性”

(a) エラストマー (ゴム)

(b) 電気絶縁材料

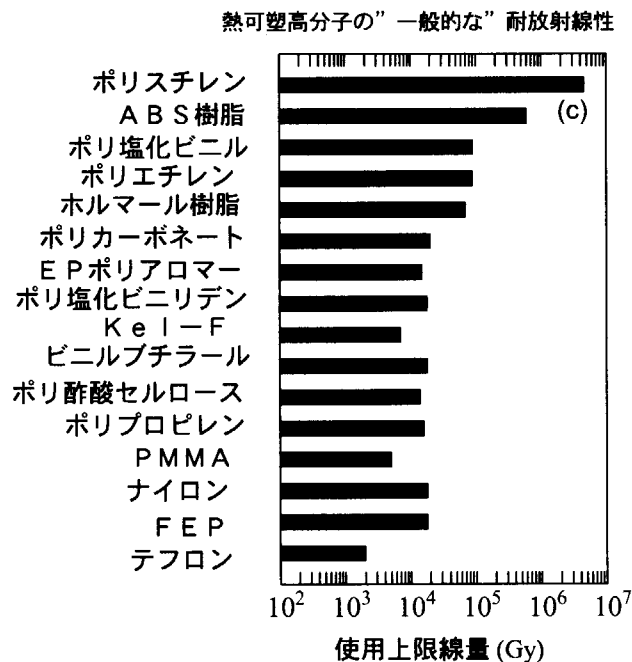


図 5-2. CERNでまとめられた“一般的な耐放射線性”

(c) 熱可塑性高分子

このデータは空气中で原子炉を用いた比較的高線量率照射により得られたものであり、あくまでも“一般的な”使用限界線量である。現実の放射線場で使用する場合には該当する放射線環境を考慮する必要があることは言うまでもない。

b. 全芳香族高分子 [4],[5],[6]

＜耐熱性の高い高分子が必ずしも耐放射線性が高いわけではない＞

近年、主鎖がすべて芳香族単位で構成された高性能エンジニアリングプラスチックが開発されている。芳香族系の有機物は放射線照射に安定であることが多く、厳しい環境で使用するのに適していると考えられてきた。

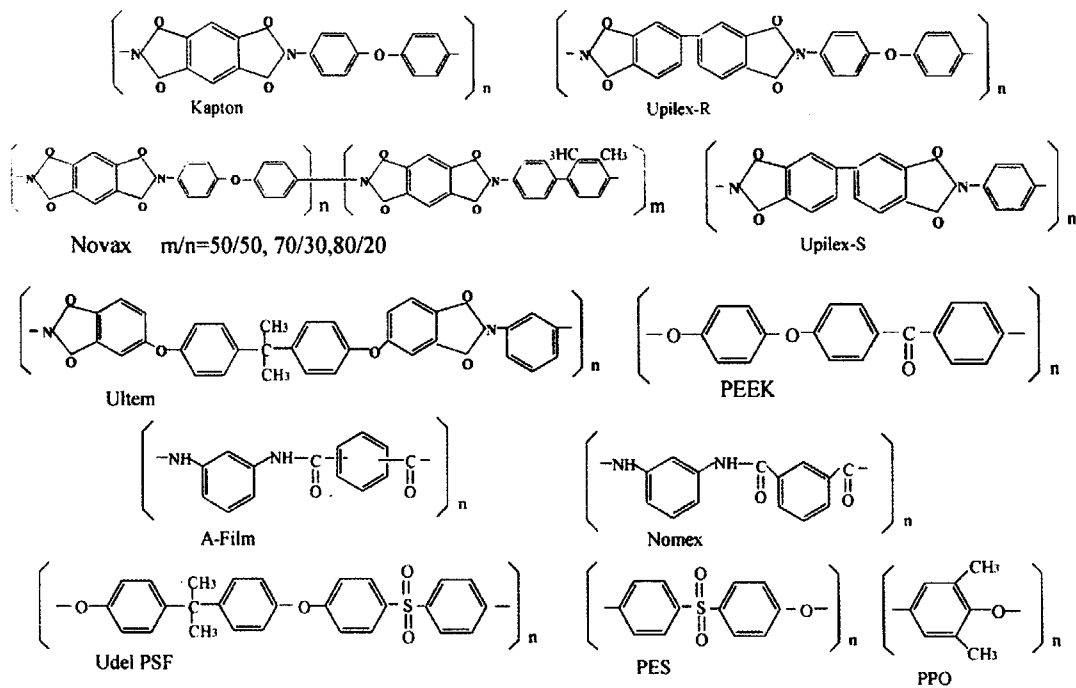


図6. 実験に使用した全芳香族高分子の分子構造

図6に示した構造の高分子について空气中で高線量率電子線(5kGy/s)照射した後の引張り伸びが初期値の50%および20%に低下する線量の関係を図7-(a),(b)に示す。ポリイミドやポリエーテルエーテルケトン(PEEK)は耐放射線性が高く、これを構成するイミド、ジフェニルエーテル、ジフェニルケトンなどの構造は放射線に対して安定であることが分かる。同じポリイミドでも分子内にビスフェノールA構造を持つUltemは耐放射線性が低い。また、耐熱性を上げるのに効果のあるジフェニルスルホンをもつ高分子耐放射線性も低い。このことは、ビスフェノールAやジフェニルスルホンは放射線性に安定な構造ではないことを示すものである。このような考察の結果、図8に示すような放射線に対する芳香族単位の安定性の序列が得られている。

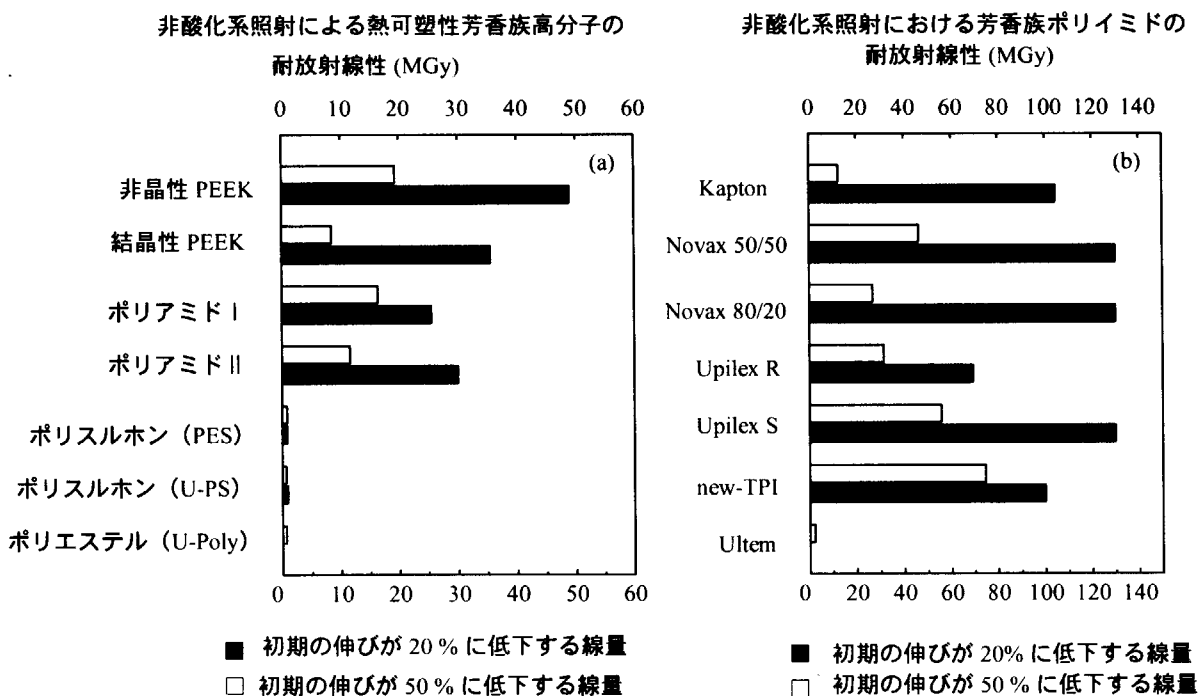


図7. 全芳香族高分子の非酸化系照射での耐放射線性、
(a) 熱可塑性高分子 (b) ポリイミド

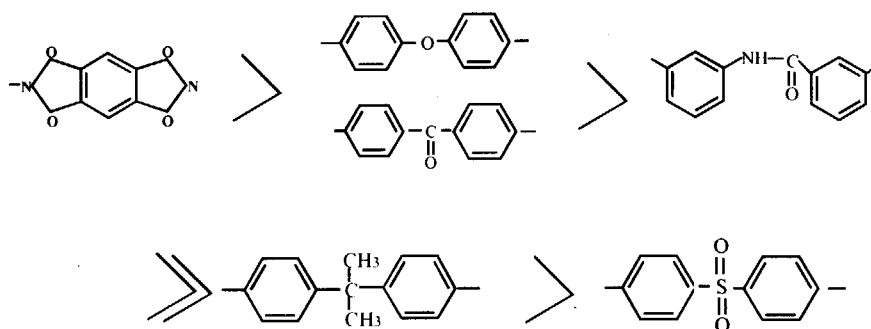


図8. 芳香族ユニットの放射線安定性の序列

芳香族高分子も放射線酸化反応が伴うと、その耐放射線性は放射線酸化反応が起こらない時の 1/5~1/10 に低下する [7]。高線量率の電子線照射といえども空気中であるので、試料の極薄い表面は放射線酸化を受ける。真空中照射ではさらに高い耐放射線性を示すと考えられる。真空中での大線量照射には困難が多いが、第2章では現状で集められる限りの関連データを収録した。

c. 放射線酸化

＜放射線酸化反応が起こるとそうでない場合の1/5～1/10低い線量で劣化する＞

放射線架橋する高分子でも、放射線酸化反応が伴う場合は主鎖切断が起こり低分子量化して劣化する。特に、原子炉環境で使用される電線被覆材料のように空气中で低い線量率（単位時間当たりの線量）下で長期間放射線照射を受ける場合には、特に放射線酸化劣化に注意する必要がある。線量率が高い場合は、空气中で照射しても表面近傍で酸素が消費され尽くされ、材料内部では放射線酸化反応は起こらない。一方線量率が低い場合には、材料内部まで放射線酸化劣化が進行する。

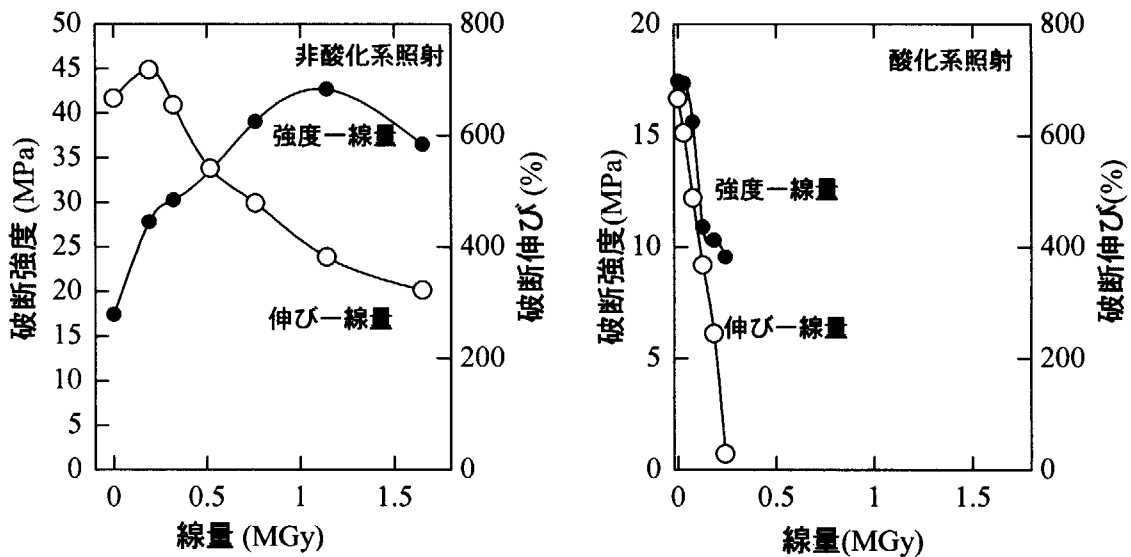


図9. 非酸化系照射と酸化系照射によるポリエチレンの劣化挙動の違い

極めて低い線量率下の照射は、長期間の照射が必要で現実的でないので、酸素圧を高め、比較的高線量率で試料内部まで放射線酸化反応を誘起し、放射線酸化劣化を模擬する方法がある。図9にポリエチレンを真空中で γ 線照射した（非酸化系照射）場合と試料内部まで放射線酸化反応が起こるように酸素を加圧して γ 線照射した（酸化系照射）場合の破断強度と伸びの線量依存性を示す^[8]。酸化系照射の方が約一桁低い線量で劣化することが分かる。

図10に樹脂と架橋ゴムを空气中と酸素加圧照射したときの劣化の度合いを比較して示す^[9]。ほとんどの樹脂材料は酸素加圧照射すると伸びが100%に低下する線量が低くなり、放射線酸化反応が起こると劣化が激しいことを示す。一方ゴム材料では酸素加圧照射すると伸びが100%に低下する線量が高くなる傾向が認められる。一見、ゴム材料は放射線酸化劣化を受けにくいように見える。しかし、ゴム材料は橋架け（架橋）による三次元構造でゴムとしての性質を発現している。酸素加圧照射後も良く伸びるのは三次元構造が破壊され、応力を受けるとズルズル伸びてしまい、もはやゴムとは云えなくなっている。

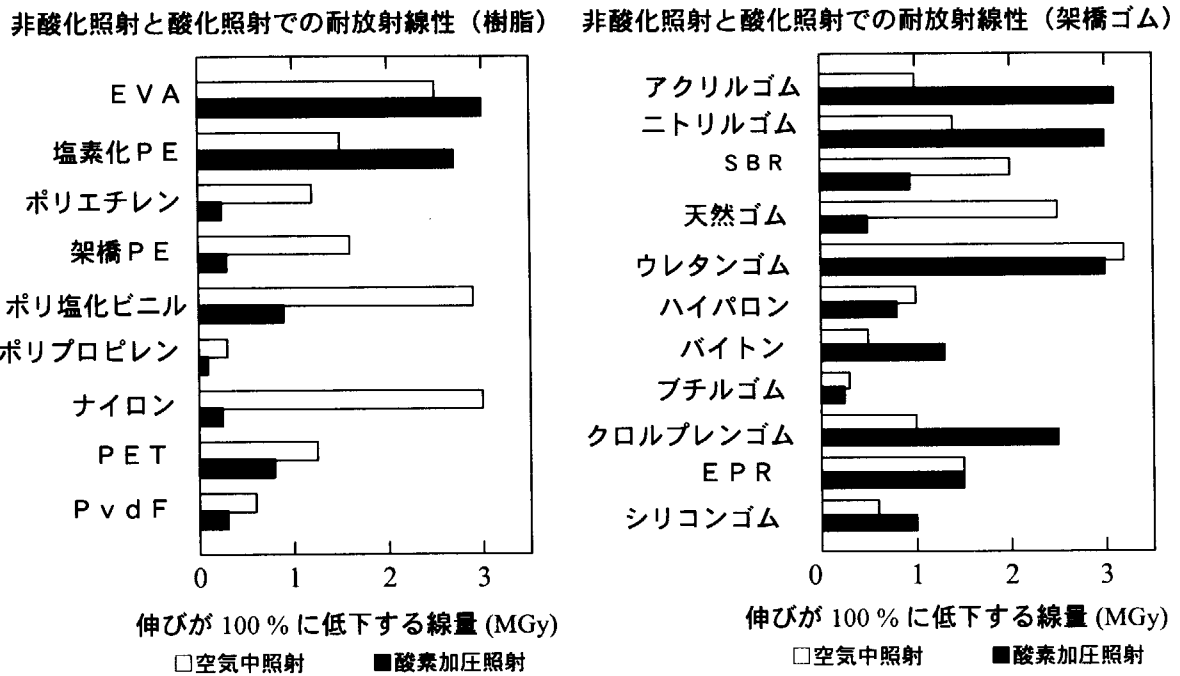


図 10. 樹脂と架橋ゴムを空气中と酸素加圧照射したときの耐放射線性

このように、材料がどのように作られているか、どう使われるかにより劣化を評価する尺度が変わってくることを考慮してデータを解釈することが肝要である。

加速器環境においても薄い材料や放射線発生源から離れたところで使用される材料では、放射線酸化による劣化を考慮する必要がある。

d. 照射環境温度の影響

<高温照射では劣化が激しく、低温照射では劣化が穏やか?>

放射線と有機物との初期の相互作用 (初期過程) に続く反応は、活性化エネルギーを持つ反応であるから、劣化速度や最終結果は、照射温度に敏感に影響を受ける。特別な例を除いて、環境温度が高くなると、架橋反応も主鎖切断反応も促進される。一般には、放射線照射により架橋、主鎖切断、不飽和結合の生成、酸化などの反応が各々の活性化エネルギーに支配され競争的に起こるので、結果を定量的に予測することは困難の場合が多いが、高温なほど室温に比べて劣化は激しくなると考えて良い。

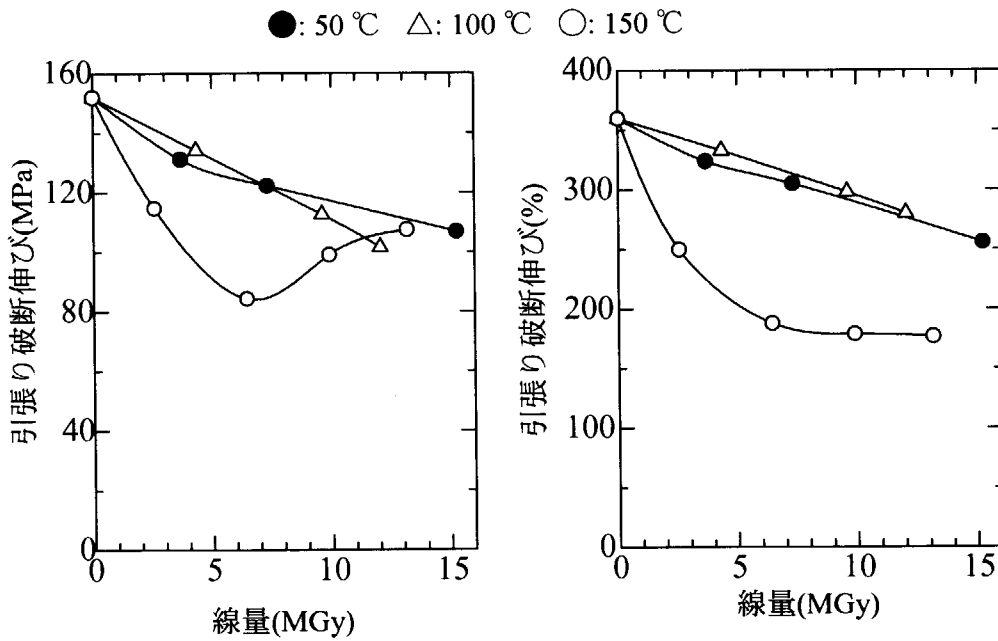


図 1.1. 全芳香族ポリエーテル・エーテル・ケトン (PEEK) の劣化挙動に及ぼす照射温度依存性

例として図11に非晶性ポリエーテル・エーテル・ケトン(PEEK)を不活性ガス中で 50℃, 100℃ 及び150℃で γ 線照射したときの引張り破断強度と引張り破断伸びの温度依存性を示す。50℃と100℃で照射した場合には、破断強度及び伸びの線量依存性はほとんど変わらないが、150℃で照射すると線量に対する強度・伸びの低下が大きくなる。150℃照射における高線量側での強度の増大は特徴的である。PEEKは非酸化系照射で架橋することが分かっており、他のデータを勘案し、高温では架橋が促進されていると結論される。

図 1.2 に非酸化系照射でも分子切断が起こるポリエーテルスルホン (PES) についての結果を示す^[10]。照射温度の上昇に伴い、破断伸びは線量と共に急激に低下する。破断強度も高温ほど線量に対する低下が大きくなり、180℃照射では、降伏すると直ちに破断し、もはや破断強度としては観測できなかった。主鎖切断型高分子では照射温度の上昇と共に切断速度も加速されるのが一般的であるが、典型的な切断型高分子のポリテトラフルオロエチレン (PTFE テフロン) は、融点付近で照射されると架橋することが最近知られるようになった^[11]。このような例は非常に少ないが、高温で使用する場合には注意を要する。

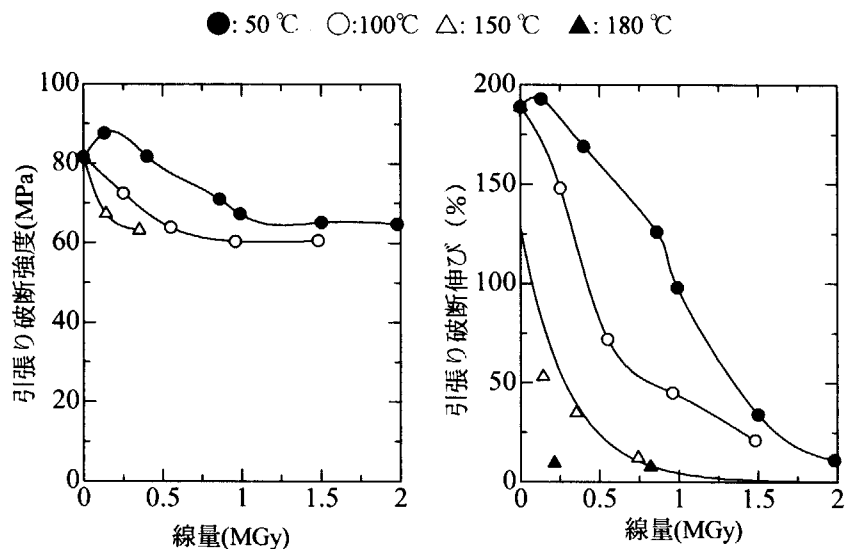


図 1.2. 全芳香族ポリエーテルスルホン (PES) の放射線劣化に及ぼす照射温度の影響

極低温照射の実験例は非常に少ないが、低温ほど劣化は少ない。実例としてテフロンを室温と 4 K で照射し室温で機械特性を測定した結果を図 1.3 に示す [12]。

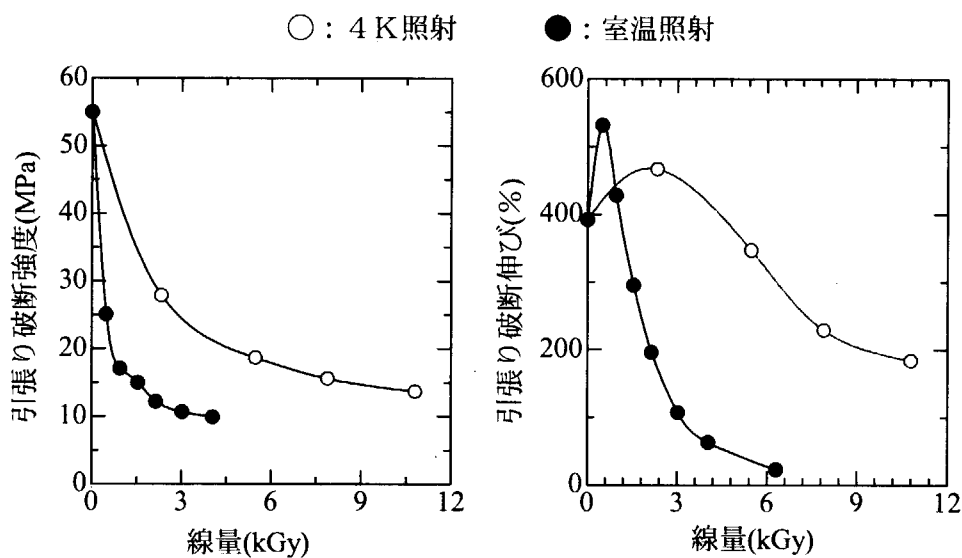


図 1.3. PTFE の機械的特性に及ぼす低温照射効果

明らかに極低温照射の方が機械的特性の低下は少ない。液体窒素温度でも照射実験を行っているが、4 K での照射と全く変わっていない。低温照射では、反応速度が小さくなるため、ラジカルなどの反応活性種が蓄積され、室温に昇温される過程で急激に反応が開始

される可能性もあるが、今のところ報告されていない。

e. 線質効果

<実験データの蓄積が必要な分野>

放射線が有機物中を通過する際の直接作用によるイオン化（一次イオン化）に比べて、一次イオン化で放出された二次電子（100 keV 程度）によるイオン化が圧倒的に多い。この二次電子の作用により、イオン対の集落（スプール）ができる。このスプールの構造（イオン対の空間分布や密度）は放射線の種類で異なる。中性子や高エネルギーイオンは γ 線・電子線に比べて、高い密度のエネルギーを局所的に付与する（線エネルギー付与；LET が大きいとも表現される）。したがって、同じエネルギー吸収があっても放射線の種類が違えば違った照射効果を与えることが予測できる。

図14にポリエチレンにLETが高い（ γ 線の約200倍）高速中性子とLETが低い γ 線照射した場合のゲル分率（照射により溶媒に解けなくなった部分の量、架橋の度合いを示す）を測定した結果を示す^[13]。LETが約200倍高い高速中性子照射と γ 線照射の間で全く差がなく、放射線架橋に及ぼすLET効果は認められない。同様に、エチレンプロピレンゴム（EPR）とテトラフルオロエチレン-プロピレン共重合体（TFEP）についてもLET効果は認められないことが報告されている。

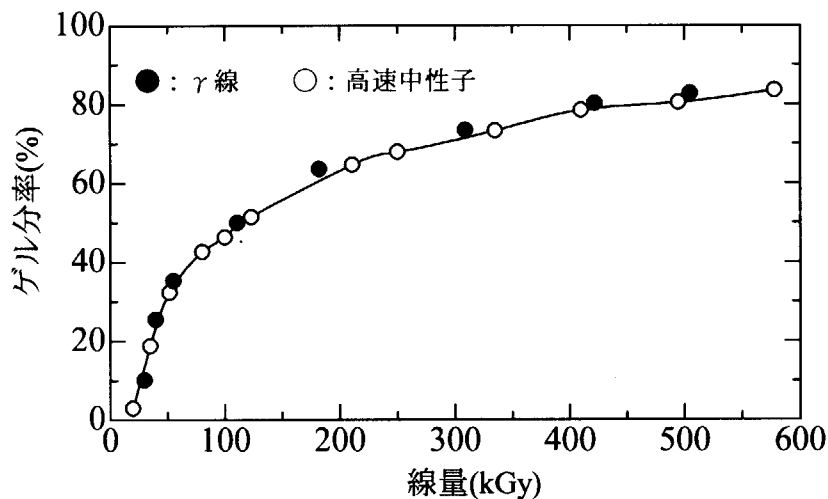


図14. ポリエチレンをLETが高い高速中性子（ γ 線の約200倍）と γ 線で照射したときのゲル分率の線量依存性

材料特性に及ぼす放射線照射効果を研究するためには、妥当な物性測定可能なだけの面積に照射することが必要であり、このような施設がなく、この分野のデータが少なかった。均一に大面積の照射ができる施設（TIARA 原研高崎研究所）が稼働してからデータ数も増えた。

図15にポリメチルメタクリレート (PMMA) をエネルギーの違う陽子 (エネルギーの低い方が LET 大) で照射した時の結果を示す^[14]。γ線照射と変わらず LET 効果は認められない。

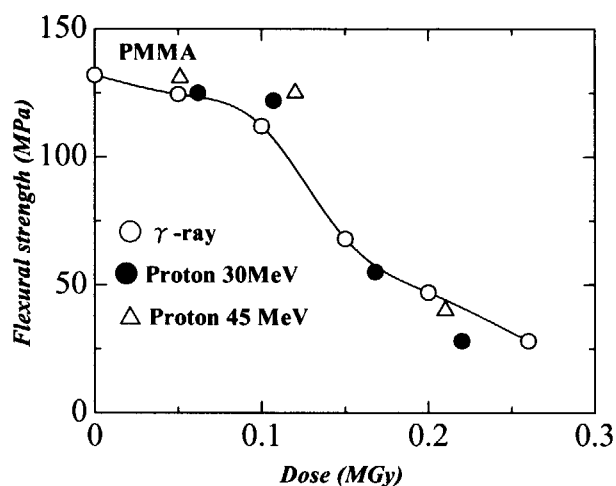


図15. PMMA の機械的特性に及ぼす LET 効果

図16にポリエチレンの同様な結果を示す^[15]。

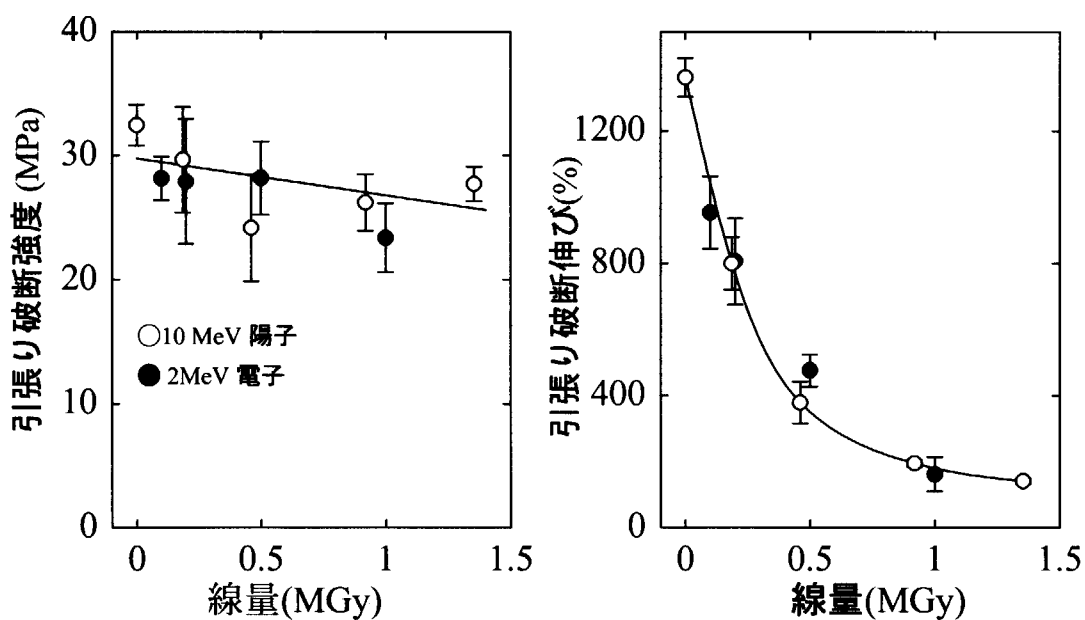


図16 ポリエチレンの機械的特性に及ぼす LET 効果

2 MeV の電子線の LET に比べ 2.8 倍大きい 10 MeV の陽子照射でも LET 効果がないと解釈される。

図 1.7 に全芳香族高分子であるポリエーテルスルホン (PES) についての結果を示す^[15]。電子照射の場合には破断伸びは線量と共に低下し、破断強度も単調に低下する。この高分子は主鎖切断型の高分子で、機械的強度の低下は主鎖切断による低分子量化によりもたらされた。これに対して、LET の高い陽子照射では、高線量側での伸びの低下及び強度の低下が少ない。これは、局所的に高密度に活性種が生じたため再結合の確率が増加し、切断が見かけ上抑えられた結果と解釈される。全芳香族ポリスルホンや PEEK^[16]では高 LET 照射で架橋が起こることが観測されている。また、LET の大きな重イオン照射効果が検討され同様な結果が得られている。

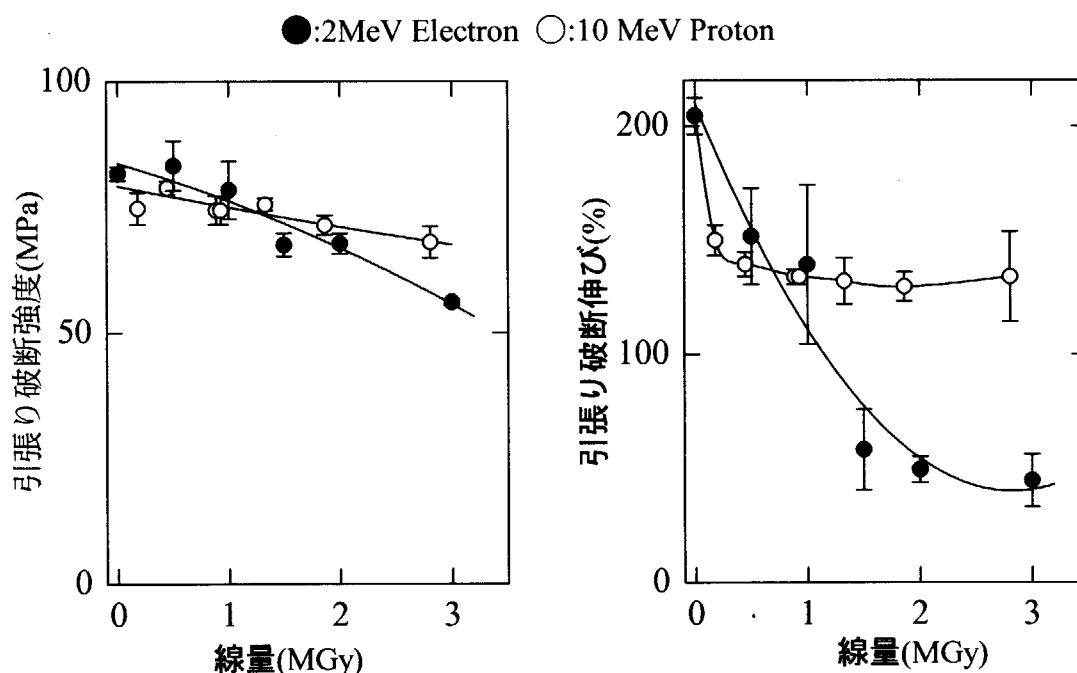


図 1.7. 全芳香族ポリエーテルスルホン (PES) の機械的特性に及ぼす LET 効果

低分子化合物においても、芳香族化合物のベンゼンでは高 LET 照射で 2 量体、3 量体が生成するが、同じ 6 員環であるが脂肪族のシクロヘキサンでは 2 量体、3 量体は生成しないなどが知られている^[17]。芳香族化合物では放射線照射でできる短寿命の励起分子が反応に重要な役割を果たしていることが知られている。これらの結果から、この程度の LET 差では脂肪族高分子では顕著な LET 効果は現れないが、芳香族高分子では機械強度の影響を及ぼす LET 効果がありそうである。今後、さらに高い LET 領域での実験等データの蓄積が望まれる。

4. 環境条件と使用条件

これまで、高分子材料とはどんなものか、放射線と有機物の間柄、具体的な放射線劣化の様子、放射線損傷・劣化に及ぼす種々の因子についてデータを交えて概観してきた。これまで述べたことは、あくまで有機材料の耐放射線性・放射線劣化についての研究結果がある切り口で輪切りにしたエッセンスにすぎない。まとめた結果だけが一人歩きをしまうと、危険性が伴う。

実際に、放射線場で使用する高分子系材料を選定するに当たっては、個々の材料がどんな環境でどのような役割で使用されるかを勘案してデータを解釈する必要がある。例えば、

- ・ 最大積算線量は？
- ・ 線量率は（放射線酸化反応は）？
- ・ 弾性限界で使うのか、それを超えた状態で使うのか？
- ・ 固定状態で使うのか、動的状態で使うのか？
- ・ 環境温度は？
- ・ 環境雰囲気は（空気、水、ガス）
- ・ 線種は何か？

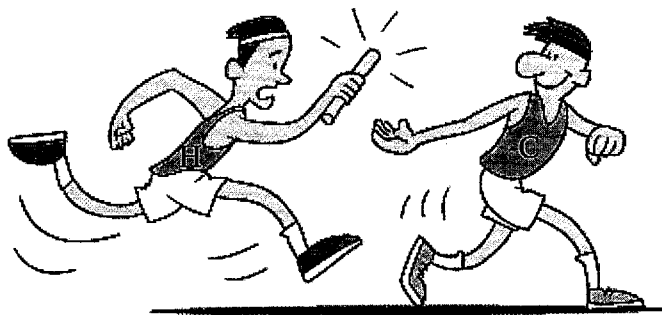
等々である。本来であれば、使用する環境に合わせて、妥当な模擬ができる条件で加速試験を行うべきであるが、簡単にはできない。すでに報告がある照射効果のデータに基づきこれまで述べてきた一般的法則を勘案して選択することになる。

次章では、高エネルギー加速器の近傍とその周りの放射線環境で使用されると思われる高分子系材料についての生データを収録した。

引用文献

- [1]. 志田正二、佐藤 伸、“光化学と放射線化学”、東京化学同人、1965.
J.W.T. Spinks and R.J. Woods, "An Introduction to Radiation Chemistry", Jhon Wiley & Sons Inc., New York(1964).
"Fundamental Process in Radiation Chemistry", Edited by P.Auseloos, Interscience Publication, New York(1968).
- [2]. P.Beynell, P.Maier and Schonbacher, "Compilation of Radiation Damage Test Data-Part III :Materials Used Around High-Energy Accelerators", CERN 82-10, European Organization for Nuclear Research, Geneva, 1982.
- [3]. 耐放射線性誘電・絶縁材料の最近の動向（Ⅰ）、（Ⅱ）、耐放射線性誘電・絶縁材料調査専門員会編、電気学会、1989.

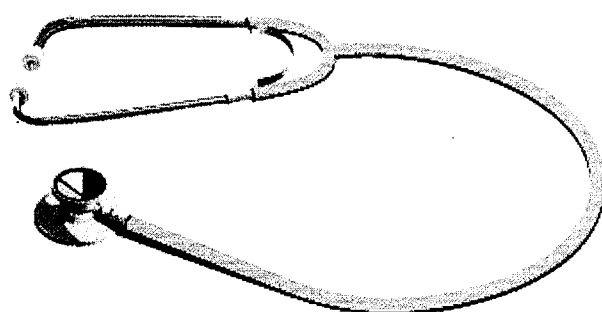
- [4]. T. Sasuga, N. Hayakawa, K. Yoshida, and M. Hagiwara, *Polymer*, 26, 1039(1985).
- [5]. 貴家, 萩原, 高分子論文集, 42, 283 (1985).
- [6]. 貴家, “高性能芳香族高分子”, p 92~117, 高分子学会編, 丸善, (1990).
- [7]. T. Sasuga and M. Hagiwara, *Polymer*, 28, 1915(1987).
T. Sasuga, *Polymer*, 29, 1562(1988).
- [8]. 貴家, “高分子材料・製品の寿命予測”, p159~194, 早川浄編, アイピーシー (1997).
- [9]. 瀬口, 貴家, 吉田, 柳生, 山本, 電気学会絶縁材料研究会試料, EIM-82-114 (1982).
- [10]. 貴家, 電気学会絶縁材料研究会試料, EIM-88131 (1988).
- [11]. A. Oshima, Y. Tabata and T. Seguchi, *Radiat. Phys, Chem.*, 45, 269(1995).
- [12]. H. Kudoh, N. Kasai, T. Sasuga and T. Seguchi, *Radiat. Phys, Chem.*, 43, 329(1994).
- [13]. T. Seguchi, N. Hayakawa, K. Yoshida, N. Tamura, Y. Katsumura, and Y. Tabata, *Radiat. Phys, Chem.*, 26, 221(1985).
- [14]. H. Kudoh, T. Sasuga, T. Seguchi and Y. Katsumura, *Polymer*, 37, 4663(1996).
- [15]. T. Sasuga, H. Kudoh and T. Seguchi, *Polymer*, 40, 5095(1999).
- [16]. T. Sasuga and H. Kudoh, *Polymer*, 41, 185(2000).
- [17]. W.G. Burns and J.R. Parry, *Nature*, 201, 814(1964).



高分子の個性は繰り返し単位の性質に依存する。

第2章 各種高分子系材料の耐放射線性データ集

1. 汎用熱可塑性樹脂
2. エラストマー
3. 芳香族系熱可塑性樹脂
4. 芳香族ポリイミド
5. CERN データ 1 エポキシ樹脂
6. CERN データ 2 GFRP、CFRP
7. 耐放射線性マトリックス樹脂及びFRP
8. 陽子・高速重イオン照射効果
9. 発生ガス



高分子に限らず有機材料の劣化は主に分子鎖の切断、架橋、酸化物や不飽和結合の生成など分子構造の変化によりもたらされる。

1. 汎用熱可塑性樹脂

加速器施設内で、電線被覆材料や冷却水・圧空配管などに多用されると思われるポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル、ナイロン、ウレタンなどの汎用の熱可塑性樹脂(一部その架橋物)についての耐放射線性データをまとめる。

これらの高分子材料の耐放射線性は、それほど高くないが、しなやかさなど芳香族系高分子にはない優れた性質を持っている。

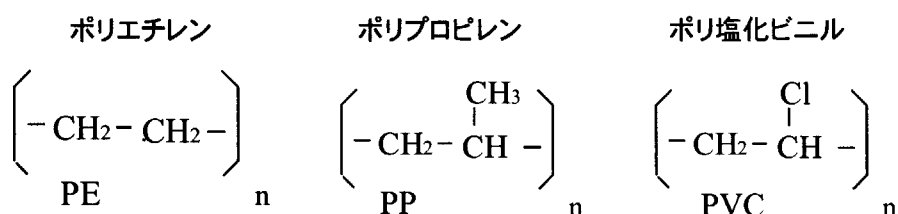
電線被覆材料は、耐放射線性助剤などの配合を行い、耐放射線性の向上を図る方策がなされている。配合はメーカーの知的資産として公開されていない。当該放射線環境での材料選択の一次スクリーニングは配合していない高分子の耐放射線性にに基づき行われる。純品に近い材料のデータを掲載した。

線量率のそれほど高くないところで使用する頻度も高いことを考慮して、試料内部まで放射線酸化反応が起こる条件(酸化系照射)での結果も可能な限り併記した。

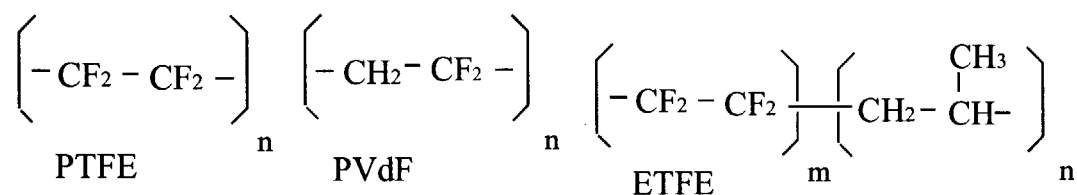
放射線酸化が伴わない非酸化系照射の範疇には、以下の照射条件が含まれる。①真空中 γ 線・電子線照射、②窒素やヘリウムなど不活性ガス気流中 γ 線・電子線照射、③1mm以上の厚い試料に対する10kGy/h程度の高線量率空気中 γ 線照射、④フィルム試料に対する数kGy/s程度の高線量率電子線照射など多岐にわたる。

高線量率の γ 線・電子線照射では、試料の極薄い表面は放射線酸化を受けるが、空気中の酸素は高線量率照射では表面付近で酸素が消費し尽くされ、内部では放射線酸化反応が起きていないことが実験的に確認されている。

汎用熱可塑性樹脂 の 分子構造

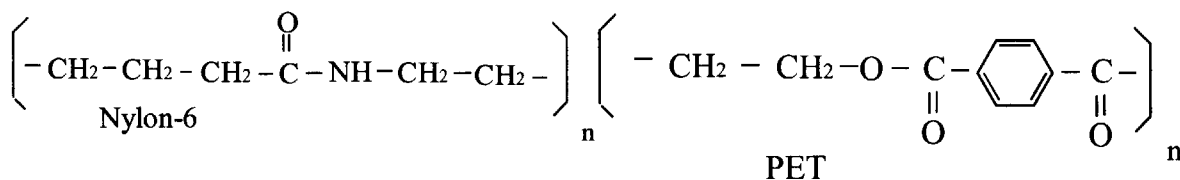


ポリテトラフルオロエチレン ポリフッ化ビニリデン 四フッ化エチレン-プロピレン共重合体

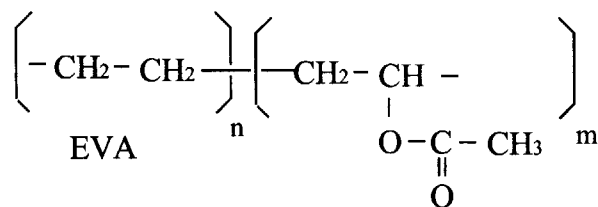


ナイロン-6

ポリエチレンテレフタレート



エチレン-酢酸ビニル共重合体



データシート No PE-1

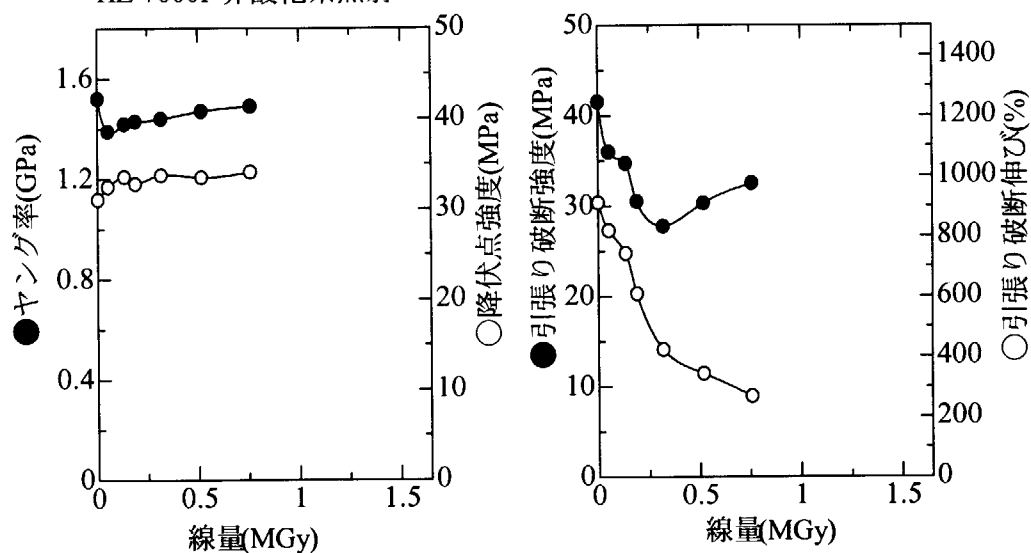
出典;第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-7000F
分子データ	分子量; 20×10^4 、密度; 0.956
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	1.52 \pm 0.19	31.04 \pm 1.49	41.54 \pm 2.30	912 \pm 25		
0.051	1.39 \pm 0.06	32.46 \pm 1.24	35.99 \pm 1.81	819 \pm 29	17.6	16.2
0.134	1.42 \pm 0.04	33.58 \pm 1.90	34.74 \pm 3.34	743 \pm 71		
0.189	1.43 \pm 0.02	32.79 \pm 0.50	30.54 \pm 1.38	609 \pm 38	45.0	5.9
0.318	1.42 \pm 0.11	33.77 \pm 1.79	27.77 \pm 1.18	432 \pm 39	55.6	2.9
0.517	1.47 \pm 0.02	33.51 \pm 0.82	30.33 \pm 1.55	343 \pm 23	60.5	2.9
0.759	1.49 \pm 0.02	34.11 \pm 1.25	32.53 \pm 1.88	268 \pm 18	68.0	2.3

HZ-7000F 非酸化系照射



データシート No PE-2

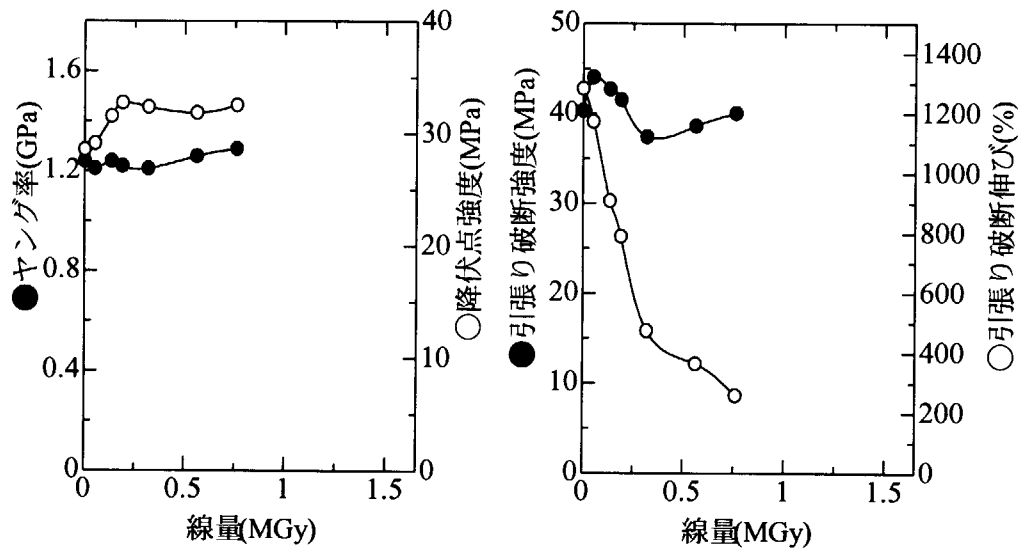
出典;第3 4回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-5000S
分子データ	分子量;10×10 ⁴ 、密度;0.954
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率; 8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	1.24±0.09	28.56±0.87	40.32±3.06	1283±99		
0.051	1.21±0.06	29.12±0.90	44.04±0.90	1137±73	10.9	35.9
0.134	1.24±0.05	31.56±1.03	42.71±1.90	909±70		
0.189	1.22±0.06	32.73±0.54	41.53±1.59	790±19	49.9	6.3
0.318	1.21±0.09	32.36±1.19	37.42±1.94	475±34	67.6	3.1
0.561	1.26±0.03	31.84±0.55	38.63±1.25	365±7	75.9	2.6
0.759	1.29±0.01	32.54±1.14	40.05±1.85	259±14	83.1	2.4

HZ-5000S 非酸化系照射



データシート No PE-3

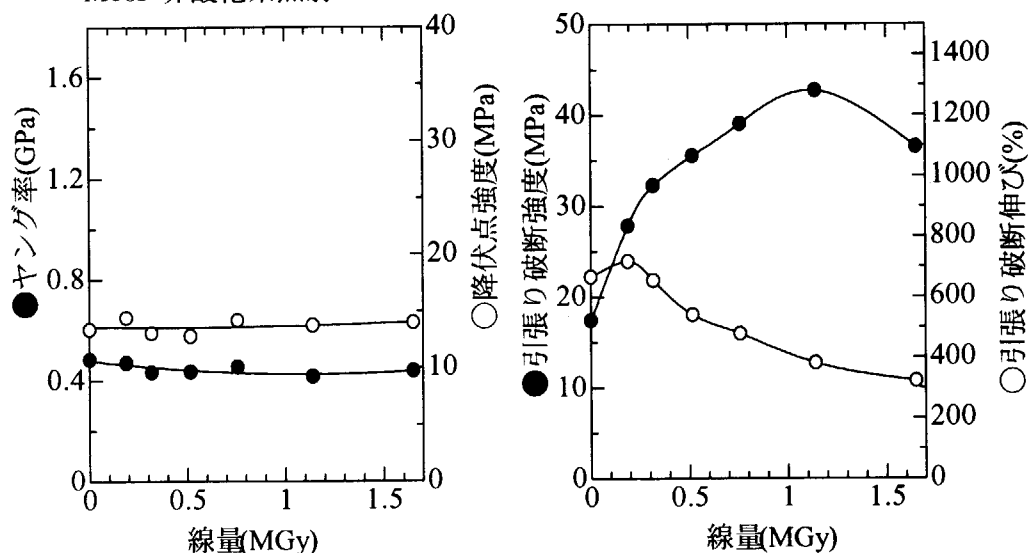
出典; 第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	高圧法低密度ポリエチレン M16P
分子データ	分子量; 4×10^4 、密度; 0.923
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100 μm 、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	0.484 ± 0.062	13.41 ± 0.24	17.45 ± 0.82	667 ± 29	-	-
0.080	-	-	-	-	6.7	-
0.188	0.471 ± 0.030	14.44 ± 0.45	27.83 ± 0.95	718 ± 27	59.7	4.9
0.318	0.433 ± 0.043	13.09 ± 0.56	32.27 ± 0.42	655 ± 40	70.6	3.5
0.517	0.455 ± 0.025	12.81 ± 0.44	35.55 ± 1.52	541 ± 18	78.6	3
0.759	0.485 ± 0.051	14.21 ± 0.27	39.07 ± 1.42	479 ± 16	85.4	2.4
1.145	0.416 ± 0.039	13.74 ± 0.14	42.70 ± 2.95	382 ± 13	89.4	2.2
1.650	0.438 ± 0.070	13.98 ± 0.97	36.52 ± 2.15	323 ± 45	-	-

M16P 非酸化系照射



データシート No PE-4

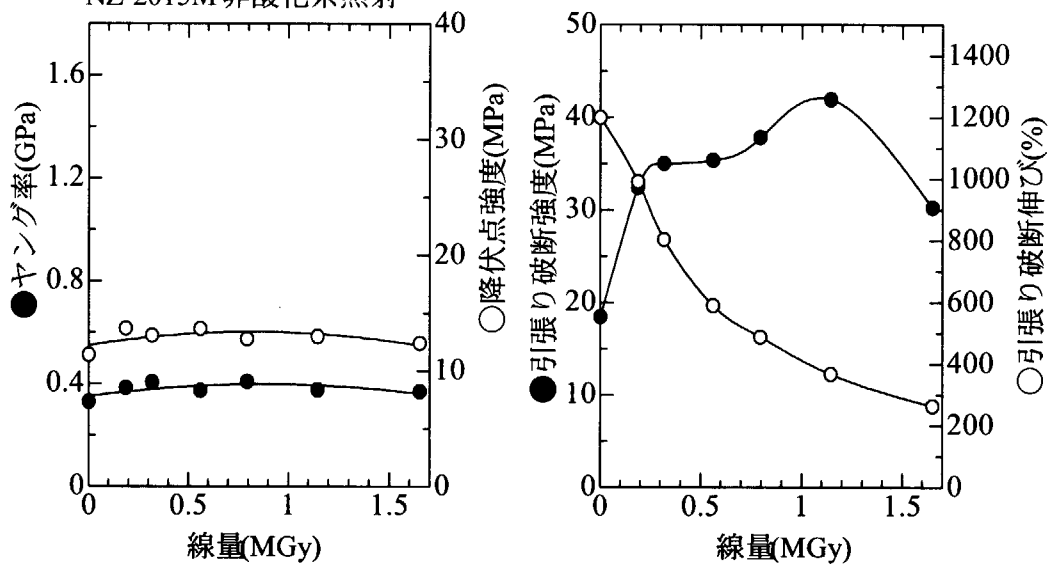
出典;第3 4回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	ブテエン1共重合低密度ポリエチレン NZ-2015M
分子データ	分子量;10×10 ⁴ 、密度;0.923
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	0.330±0.290	11.38±0.23	18.45±0.80	1199±80		
0.132	-	-	-	-	48.5	10.6
0.188	0.384±0.050	13.67±1.75	32.42±0.37	991±4	61.1	4.1
0.318	0.406±0.038	13.07±0.51	35.01±1.88	804±20	76.1	3.3
0.561	0.373±0.038	13.65±1.22	35.36±1.84	590±30	84.8	2.8
0.759	0.408±0.027	12.75±0.55	37.82±3.99	488±24	89.6	2.6
1.145	0.376±0.034	12.96±1.07	41.94±1.98	367±13	93.0	2.6
1.650	0.369±0.023	12.44±0.44	30.23±0.91	263±12		

NZ-2015M 非酸化系照射



データシート No PE-5

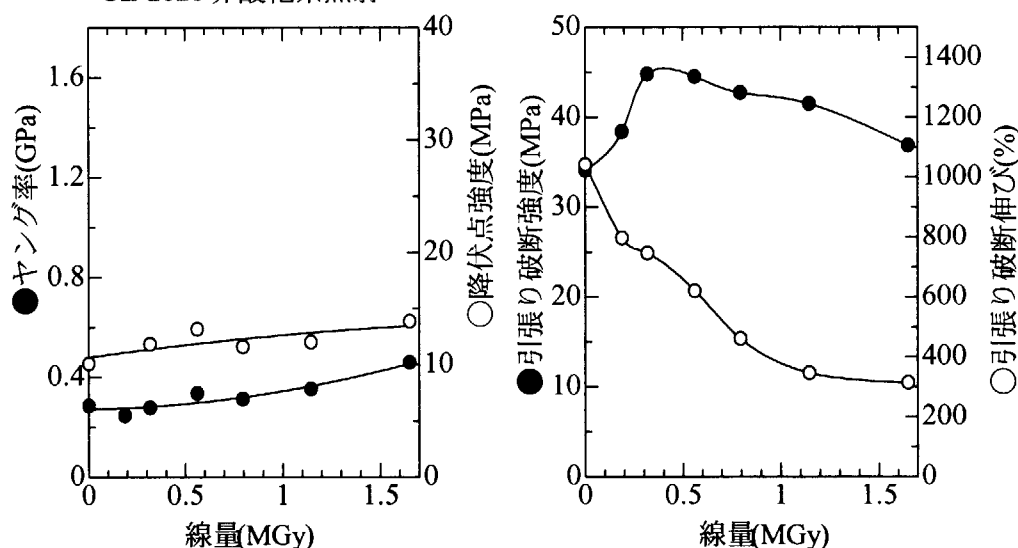
出典;第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	4-メチルペンテン共重合低密度ポリエチレン UZ-2021L
分子データ	分子量; 8×10^4 、密度; 0.922
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	0.286 \pm 0.030	10.10 \pm 0.36	34.09 \pm 1.56	1042 \pm 34		
0.132	-	-	-	-	50.8	13.3
0.188	0.247 \pm 0.014	10.55 \pm 0.85	38.41 \pm 1.79	797 \pm 34	63.6	4.2
0.318	0.278 \pm 0.014	11.83 \pm 0.54	44.81 \pm 1.13	747 \pm 14	81.9	2.8
0.561	0.336 \pm 0.047	13.19 \pm 0.87	44.53 \pm 1.65	612 \pm 42	87.6	2.6
0.759	0.313 \pm 0.034	11.62 \pm 0.57	42.72 \pm 1.37	461 \pm 5	92.5	2.4
1.145	0.353 \pm 0.036	12.00 \pm 0.81	41.50 \pm 0.94	347 \pm 18	94.6	2.2
1.650	0.459 \pm 0.042	13.87 \pm 0.31	36.89 \pm 0.97	314 \pm 18		

UZ-2021 非酸化系照射



データシート No PE-6

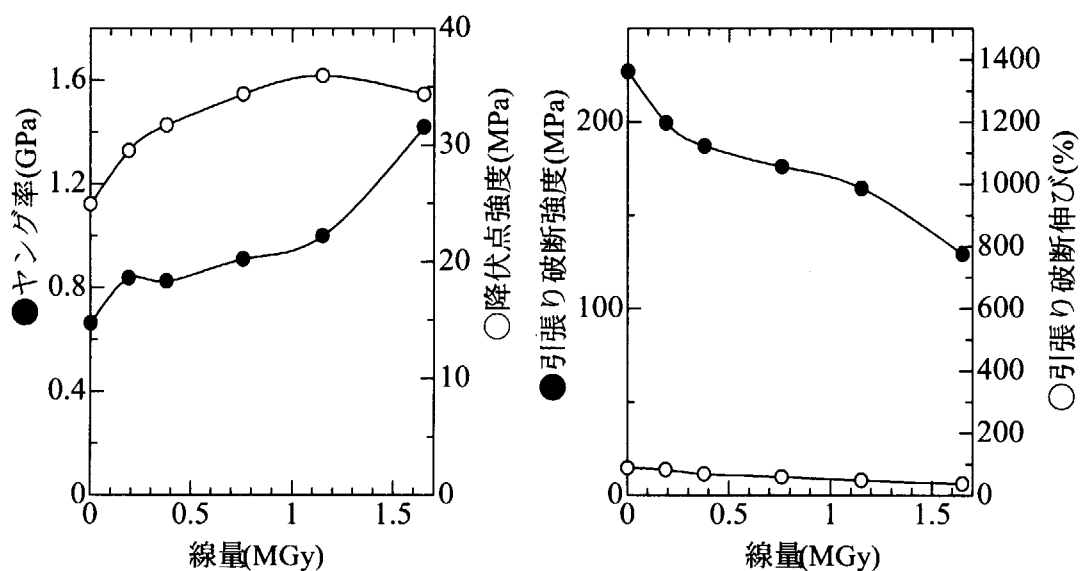
出典;第3 4回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	超高分子量ポリエチレン HZ-Million
分子データ	分子量;200×10 ⁴ 、密度;0.935
主な用途	機械部品、人口関節など
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率; 8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %	ゲル分率 %	膨潤率
0.000	0.663±0.040	24.94±3.21	226.9±4.5	88±5		
0.080	-	-	-	-	1.9	
0.188	0.837±0.040	29.51±3.73	119.4±3.13	82±2	91.4	2.6
0.378	0.825±0.090	31.70±1.49	187.11±4.1	69±2	92.8	2.7
0.759	0.910±0.013	34.36±1.26	176.0±4.8	59±3	98.6	2.6
1.145	1.000±0.011	35.94±2.60	164.4±7.75	48±2		
1.650	1.42±0.08	34.35±1.48	129.1±4.9	37±3		

HZ-Milion 非酸化系照射



データシート No PE-7

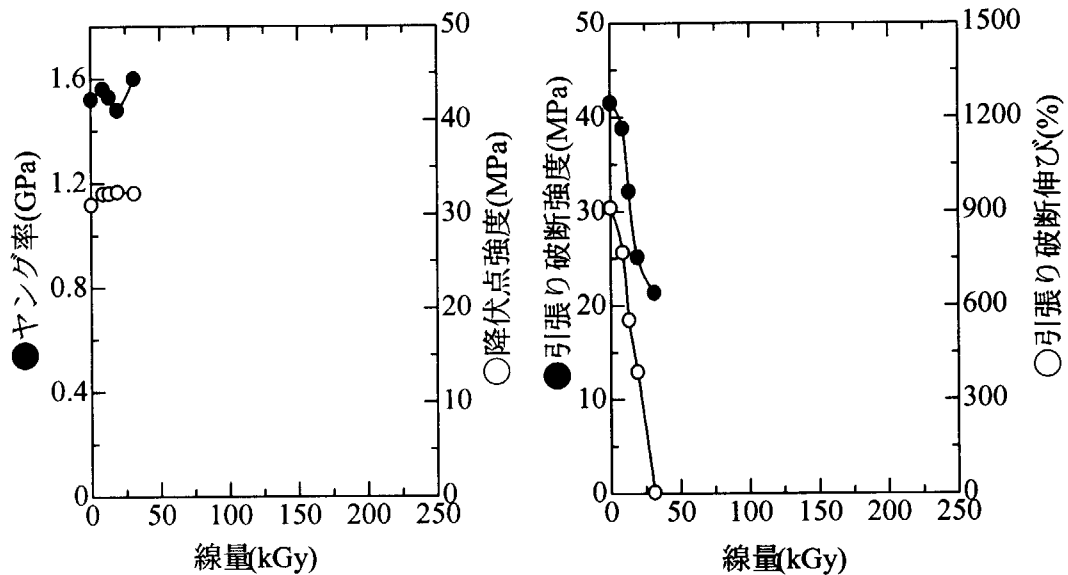
出典;第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	チグラー法高密度ポリエチレン HZ-7000F
分子データ	分子量; 20×10^4 、密度; 0.956
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 4.5 kGy/h、5気圧酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 kGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.52 \pm 0.19	31.04 \pm 1.49	41.54 \pm 2.30	912 \pm 25
8.5	1.56 \pm 0.01	32.21 \pm 4.00	38.84 \pm 1.50	770 \pm 49
13.0	1.53 \pm 0.14	32.25 \pm 0.96	32.13 \pm 3.31	554 \pm 80
19.0	1.48 \pm 0.15	32.40 \pm 0.42	25.16 \pm 1.80	388 \pm 18
31.0	1.60 \pm 0.11	32.27 \pm 0.38	21.35 \pm 0.55	4 \pm 1
58.0	1.54 \pm 0.13	31.52 \pm 0.92	-	-

HZ-7000F酸素加圧照射



データシート No PE-8

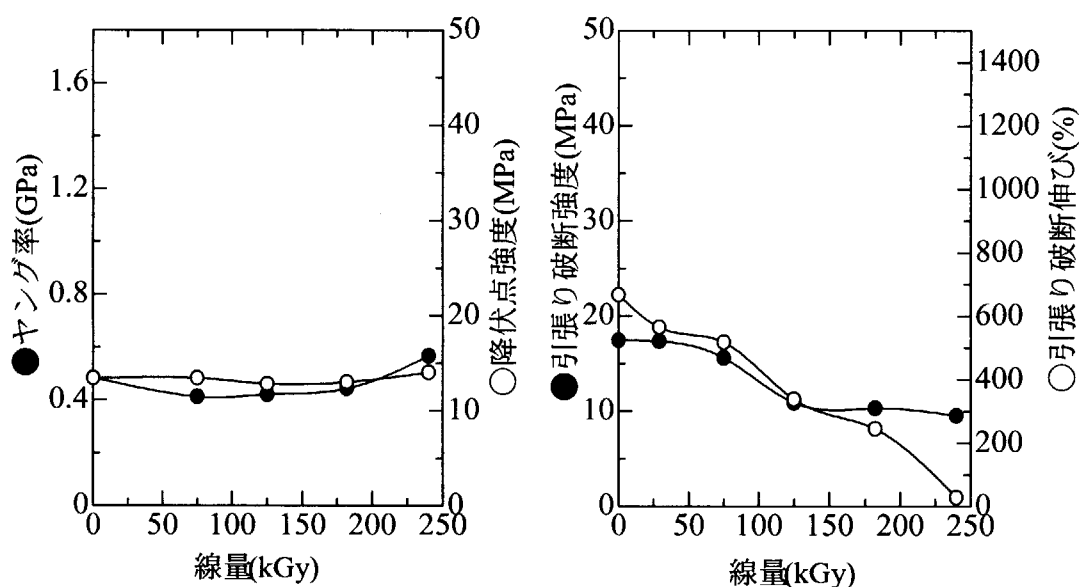
出典;第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	高圧法低密度ポリエチレン M16P
分子データ	分子量; 4×10^4 、密度; 0.923
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学(株)
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 4.5 kGy/h、5気圧酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 kGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	0.484 \pm 0.062	13.41 \pm 0.24	17.45 \pm 0.82	667 \pm 29
28.8	-	-	17.36 \pm 0.79	565 \pm 53
75.0	0.413 \pm 0.036	13.43 \pm 0.20	15.62 \pm 1.14	518 \pm 34
125.0	0.421 \pm 0.037	12.80 \pm 0.69	10.91 \pm 0.72	338 \pm 78
182.0	0.444 \pm 0.043	13.01 \pm 1.08	10.32 \pm 1.07	245 \pm 50
240.0	0.568 \pm 0.155	14.04 \pm 0.81	9.56 \pm 0.45	29 \pm 2

M16P酸素加圧照射



データシート No PE-9

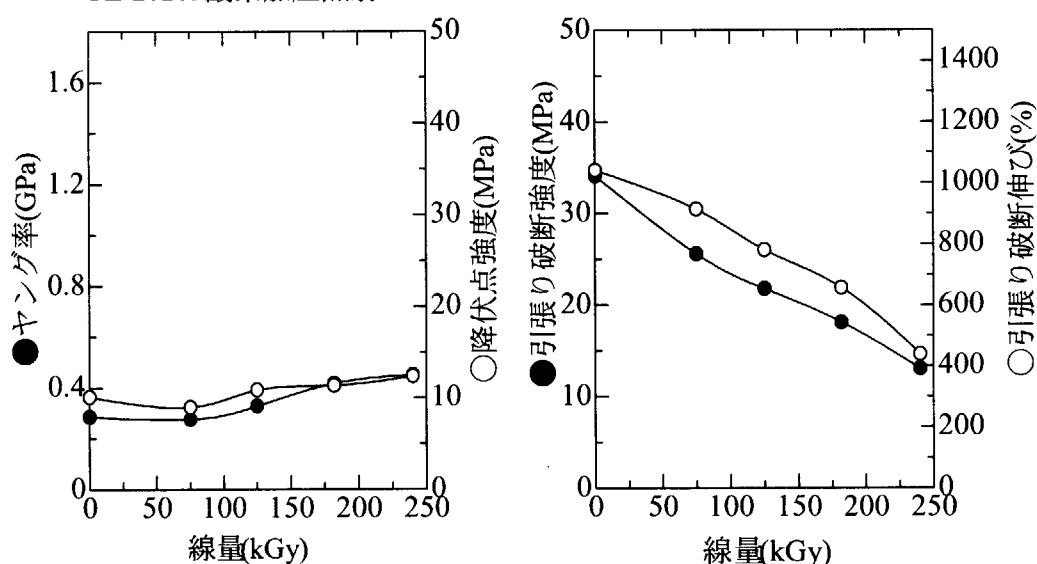
出典; 第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	4-メチルペンテン共重合低密度ポリエチレン UZ-2021L
分子データ	分子量; 8×10^4 、密度; 0.922
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 4.5 kGy/h、5気圧酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 kGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	0.286 \pm 0.030	10.10 \pm 0.36	34.09 \pm 1.56	1042 \pm 34
75.0	0.276 \pm 0.045	8.99 \pm 0.77	25.57 \pm 2.20	913 \pm 53
125.0	0.328 \pm 0.047	10.88 \pm 0.36	21.76 \pm 1.51	780 \pm 47
182.0	0.417 \pm 0.030	11.36 \pm 0.51	18.09 \pm 1.09	656 \pm 56
240.0	0.450 \pm 0.041	12.37 \pm 0.26	13.04 \pm 1.48	439 \pm 114

UZ-2021L酸素加圧照射



データシート No PE-10

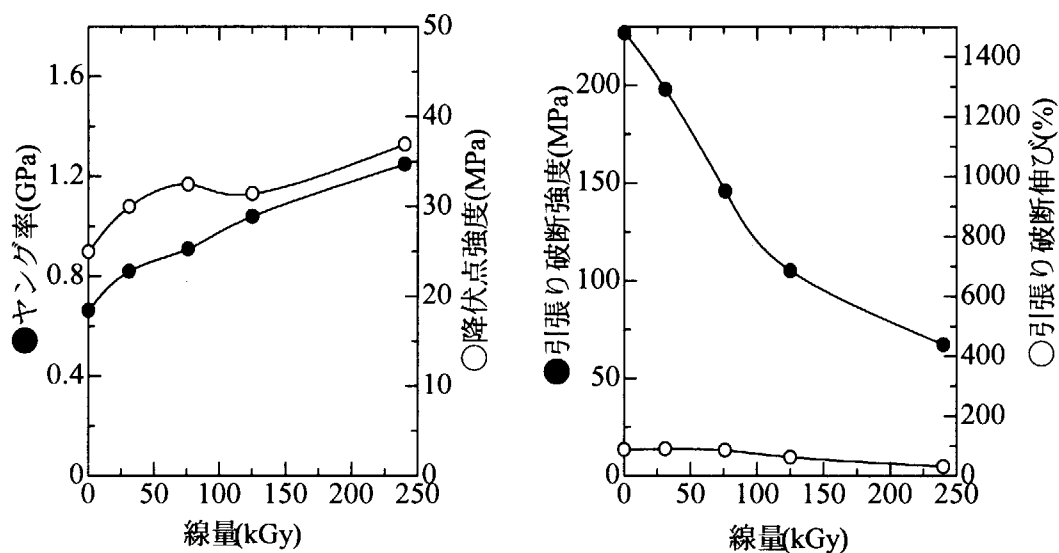
出典;第34回放射線化学討論会要旨集(1992)

“ポリエチレンの放射線照射効果に及ぼす結晶性の影響”

材料名	超高分子量ポリエチレン HZ-Million
分子データ	分子量;200×10 ⁴ 、密度;0.935
主な用途	機械部品、人口関節
製作者	三井石油化学((株))
形状	厚さ100μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;8 kGy/h、窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 kGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	0.663±0.040	24.94±3.21	226.9±4.5	88±5
31.0	0.820±0.060	29.97±0.61	197.9±0.83	90±8
76.0	0.910±0.100	32.47±1.54	145.80±2.9	86±3
125.0	1.040±0.100	31.40±0.53	105.10±1.8	63±3
240.0	1.25±0.08	36.92±1.36	67.31±3.3	32±3

HZ-Million 酸素加圧照射



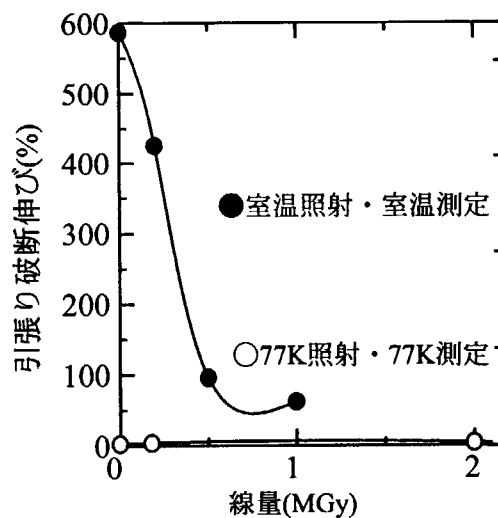
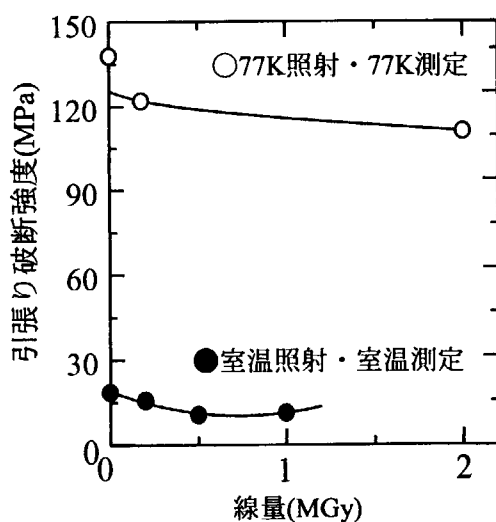
データシート No PE-11

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	ポリエチレン DFDM 6005
分子データ	
主な用途	フィルム
製作者	BP Chemicals
形状	厚さ 100 μ m
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	引張り試験(室温、77K、引張り速度; 50mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	18.6 \pm 1.3	587 \pm 59	138 \pm 2.5	2.7 \pm 0.1
0.18			122 \pm 2.5	3.9 \pm 0.1
0.20	15.7 \pm 1.0	425 \pm 21		
0.50	10.6 \pm 0.1	96 \pm 4.0		
1.00	11.3 \pm 0.1	62 \pm 3.0		
2.00			111 \pm 11.0	4.1 \pm 0.1

ポリエチレン (DFDM 6005) 照射温度依存性 (原子炉照射)



データシート No XPE-1

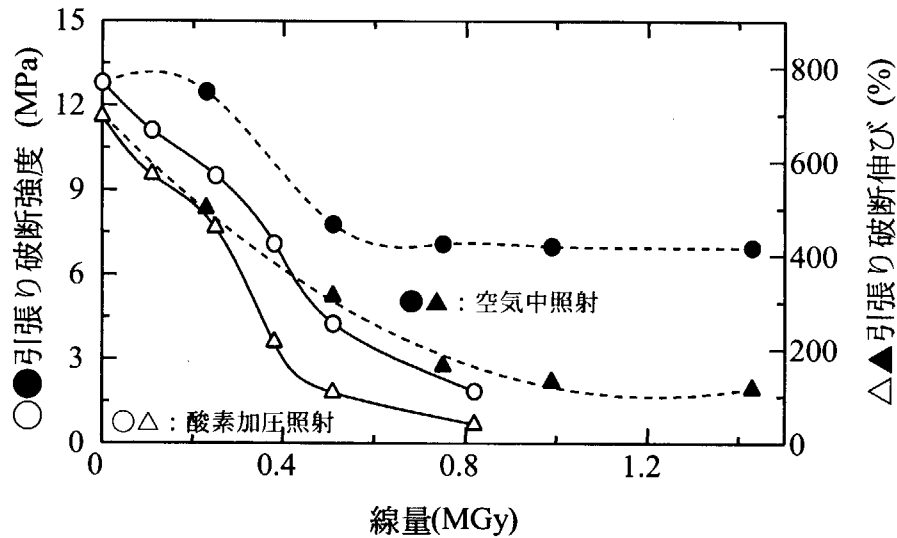
出典:電気学会 絶縁材料研究会 EIM-82-133 (1982)

”酸素加圧下照射による電気絶縁材料の促進劣化”

材料名	原子炉電線用配合 架橋ポリエチレン
分子データ	
主な用途	フィルム
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ 100 μ m
照射条件	10 kGy/h 空气中 及び 2.8 kGy/h 1MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、77K、引張り速度;50mm/min)

高線量率 γ 線照射			酸素加圧 γ 線照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	12.80	695	0.00	12.80	695
0.23	12.47	500	0.11	11.11	572
0.51	7.78	314	0.25	9.50	459
0.75	7.08	165	0.38	7.09	215
0.99	7.00	131	0.51	4.25	108
1.43	6.95	117	0.82	1.85	40.6

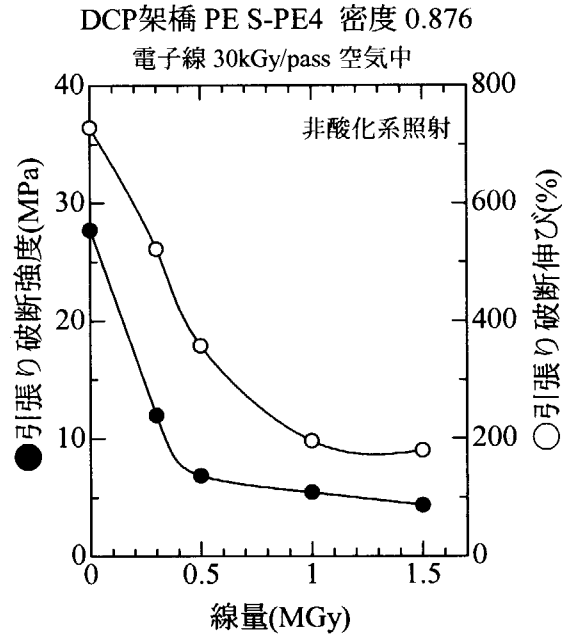
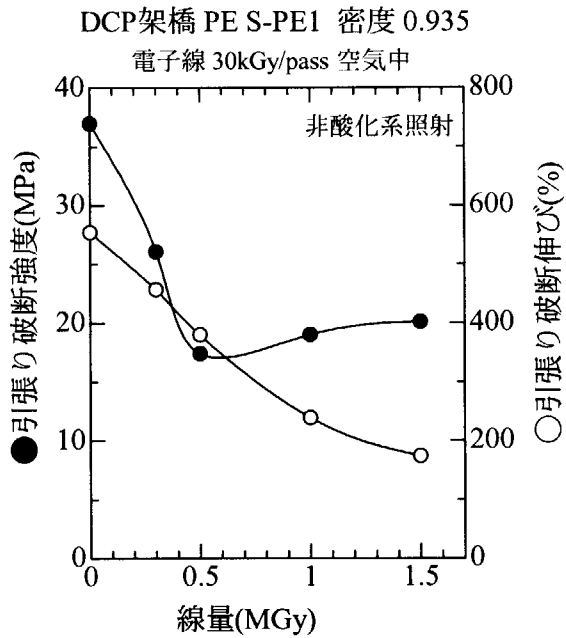
原子炉用電線配合ポリ架橋PE 空气中 / 酸素加圧照射



データシート No XPE-2

出典;電気学会研究会資料 誘電・絶縁材料研究会 DIM-97-149 (1997)
 “シングルサイト触媒重合ポリエチレンの照射特性”

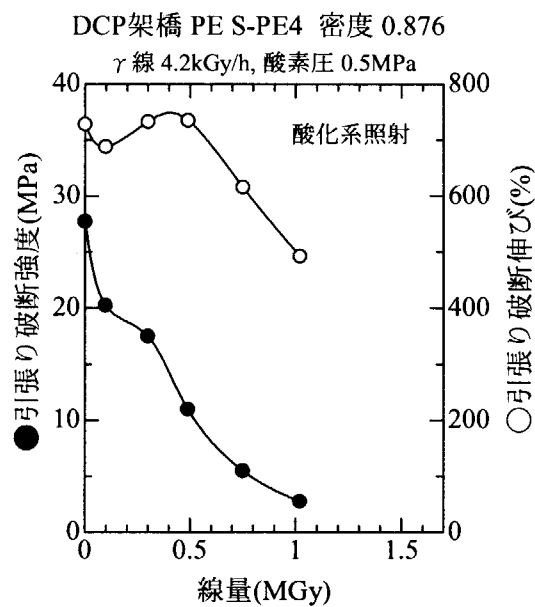
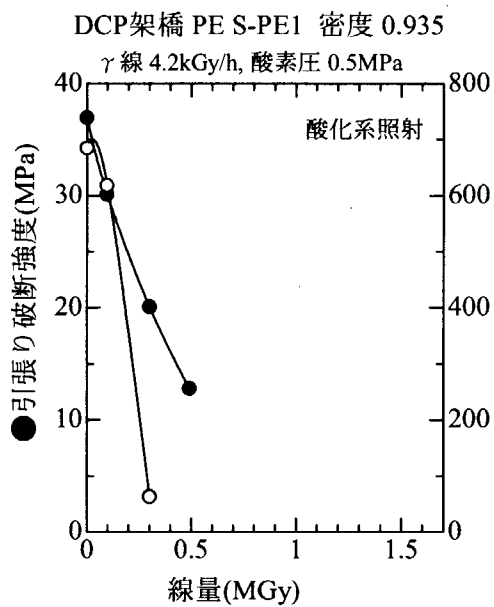
材料名	DCP架橋メタロセンポリエチレン S-PE1, S-PE4
分子データ	密度;0.935(S-PE1), 0.875(S-PE4)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	不祥
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率;3kGy/1pass、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)



データシート No XPE-3

出典;電気学会研究会資料 誘電・絶縁材料研究会 DIM-97-149 (1997)
 “シングルサイト触媒重合ポリエチレンの照射特性”

材料名	DCP架橋メタロセンポリエチレン S-PE1, S-PE4
分子データ	密度;0.935(S-PE1)、0.875(S-PE4)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	不祥
形状	厚さ1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;4.2 kGyh/、酸素0.5 MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

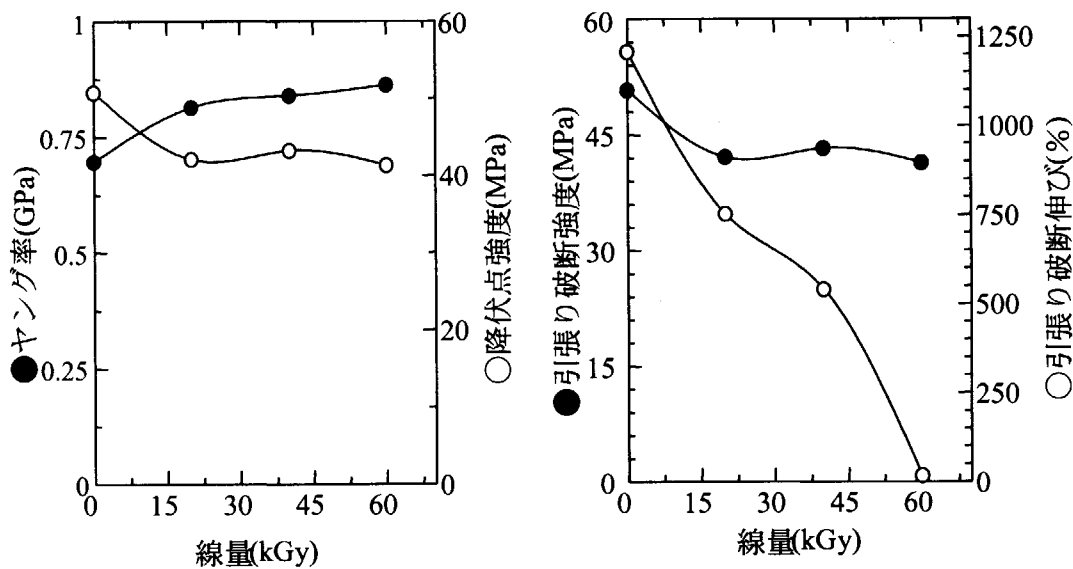


データシート No PP-1
 出典; Polymer, 30, 2054(1989)

材料名	ポリプロピレン
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	不祥
形状	厚さ 100 μ m、ASTM 1822ダンベルに切り出し
照射条件	電子線 2.5 kGy/s He 気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 kGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	0.697 \pm 0.042	50.8 \pm 8.22	49.3 \pm 9.9	1208 \pm 261
20.0	0.814 \pm 0.110	42.1 \pm 1.02	42.53 \pm 1.2	753 \pm 156
40.0	0.839 \pm 0.028	43.2 \pm 0.33	37.9 \pm 8.9	540 \pm 125
60.0	0.862 \pm 0.065	41.3 \pm 1.5	37.1 \pm 3.5	17 \pm 4.5

ポリプロピレン (PP) 電子線 2.5kGy/s窒素気流中

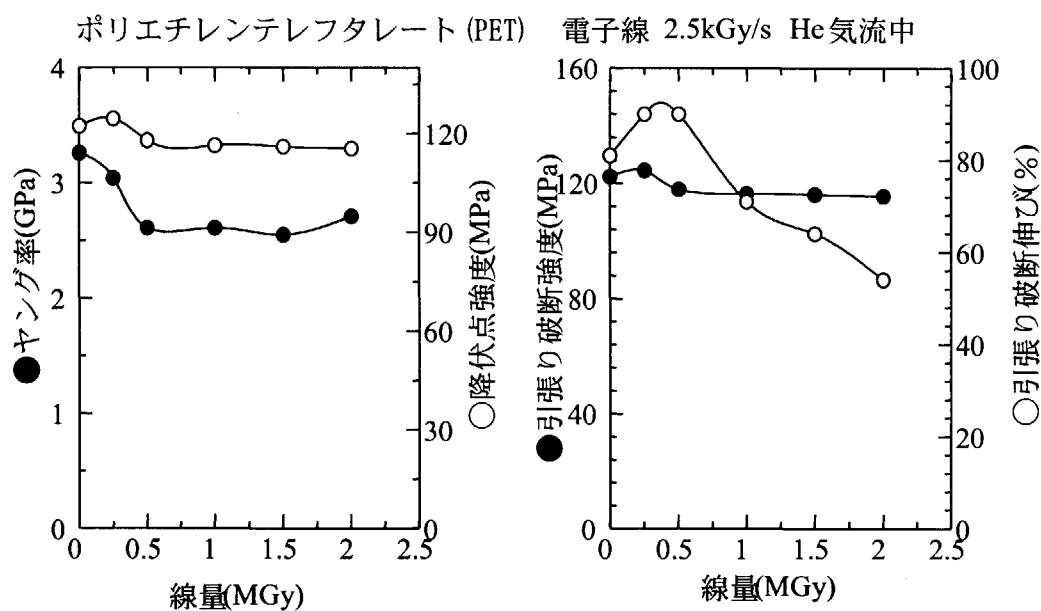


データシート No PET-1

出典; Polymer, 30, 2054(1989)

材料名	ポリエチレンテレフタレート(PET)
分子データ	ダイヤフォイル
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	三菱樹脂(株)
形状	厚さ 100 μ m、ASTM 1822ダンベルに切り出し
照射条件	電子線 2.5 kGy/s He 気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	3.26 \pm 0.23	122.3 \pm 0.6	185.0 \pm 2.8	81 \pm 3
0.25	3.04 \pm 0.29	124.5 \pm 3.0	166.6 \pm 9.3	90 \pm 14
0.50	2.61 \pm 0.11	117.9 \pm 0.5	146.3 \pm 1.2	90 \pm 5
1.00	2.61 \pm 0.24	116.4 \pm 0.6	134.8 \pm 2.9	71 \pm 5
1.50	2.55 \pm 0.21	116.0 \pm 1.1	126.3 \pm 1.6	64 \pm 3
2.00	2.71 \pm 0.27	115.4 \pm 1.2	123.0 \pm 1.6	54 \pm 1

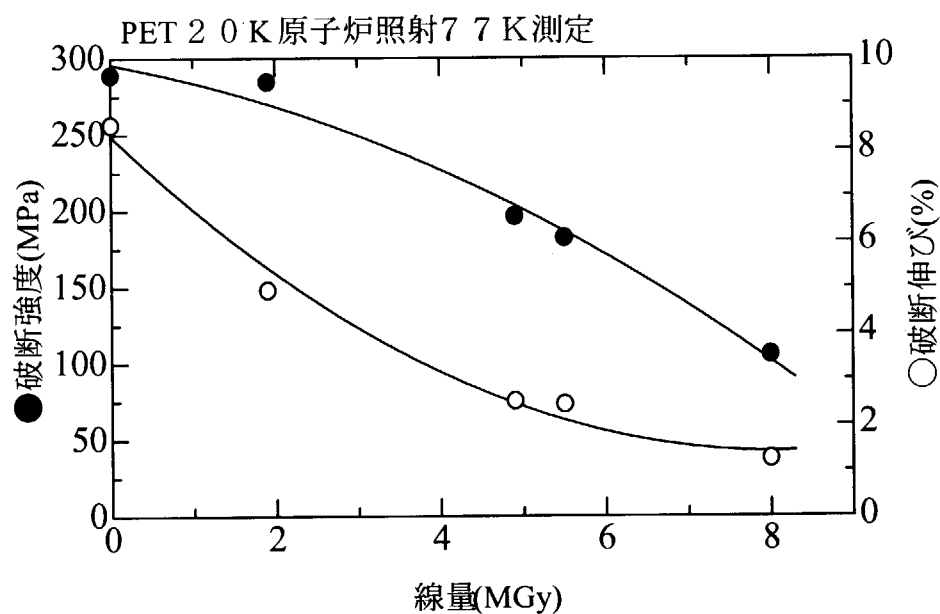


データシート No PET-2

出典; J. Nucl. Mater., 133/134, 788(1985)

材料名	ポリエチレンテレフタレート(PET)
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	不祥
形状	厚さ 100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	京大原子炉 γ 線; 1.2 kGy/h、高速中性子; 2.5×10^{15} n/m ² /s、熱中性子; 2.3×10^{16} n/m ² /s、1Gy = 1×10^{15} n/m ² として換算、20K
測定	引張り試験(77K、引張り速度; 0.05mm/min)

線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	289.1	8.55
1.9	284.7	4.94
4.9	196.5	2.52
5.5	182.4	2.45
8.0	105.9	1.26



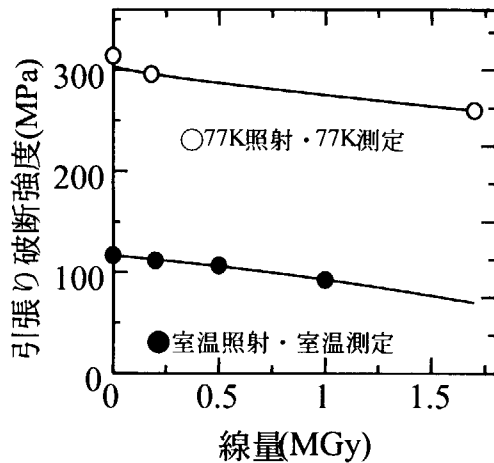
データシート No PET-3

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

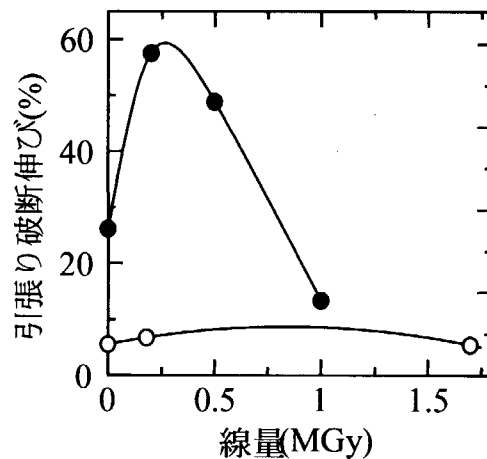
材料名	ポリエチレンテレフタレート(PET)
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	CERN stores
形状	厚さ 100 μ m
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia), RT照射: ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	引張り試験(室温、77K、引張り速度; 3 or 50mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	116.7 \pm 11.0	26.1 \pm 18.0	314 \pm 7.5	5.5 \pm 0.1
0.18			296 \pm 4.9	6.7 \pm 0.1
0.20	111.5 \pm 6.1	57.5 \pm 7.4		
0.50	106.4 \pm 8.1	48.8 \pm 13		
1.00	92.5 \pm 6.5	13.3 \pm 11		
1.70			260 \pm 5.6	5.4 \pm 0.1

ポリエチレンテレフタレート (PET)



照射温度依存性 (原子炉照射)



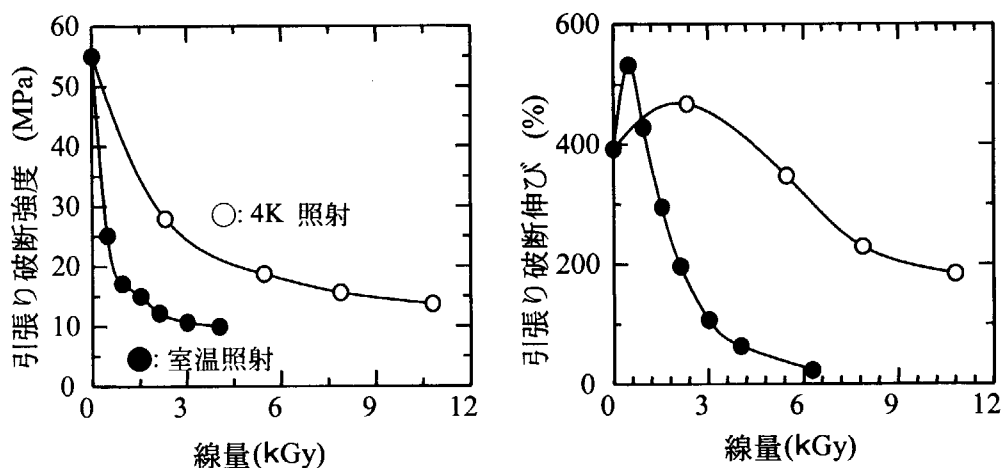
データシート No PTFE-1

出典; Radiat. Phys., Chem., 48, 89 (1996)

材料名	ポリテトラフルオロエチレン (PTFE)
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	ニチアス(株)
形状	厚さ 200 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 4K照射、27kGy/h 及び γ 線 室温照射、8kGy/h
測定	引張り試験 (77K、引張り速度:200mm/min)

線量 kGy	室温照射・室温測定		4 K 照射・室温測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	55.0	392	55.0	392
0.48	25.1	532		
0.95	17.1	428		
1.54	15.0	295		
2.14	12.2	196		
2.33			27.9	467
3.02	10.7	107		
4.04	9.9	63.2		
5.47			18.7	347
7.89			15.6	229
10.80			13.7	184

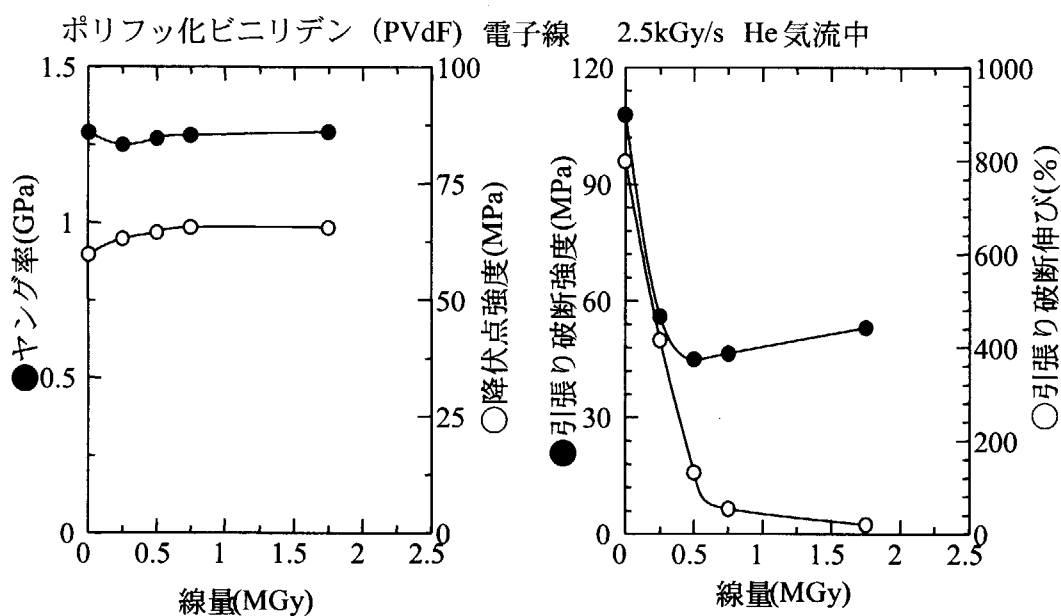
ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 照射温度依存性



データシート No PVdF-1
 出典; Polymer, 30, 2054(1989)

材料名	ポリフッ化ビニリデン (PVdF)
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	不祥
形状	厚さ 125 μ m、ASTM 1822ダンベルに切り出し
照射条件	電子線 2.5 kGy/s He 気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.29 \pm 0.07	59.8 \pm 1.4	107.9 \pm 9.0	799 \pm 65
0.25	1.25 \pm 1.16	63.1 \pm 1.4	56.0 \pm 8.2	416 \pm 76
0.50	1.27 \pm 0.88	64.5 \pm 3.7	45.0 \pm 6.3	132 \pm 32
0.75	1.28 \pm 1.02	65.6 \pm 1.5	46.5 \pm 1.8	54 \pm 34
1.75	1.29 \pm 0.55	65.5 \pm 1.7	53.1 \pm 2.8	20 \pm 1.6

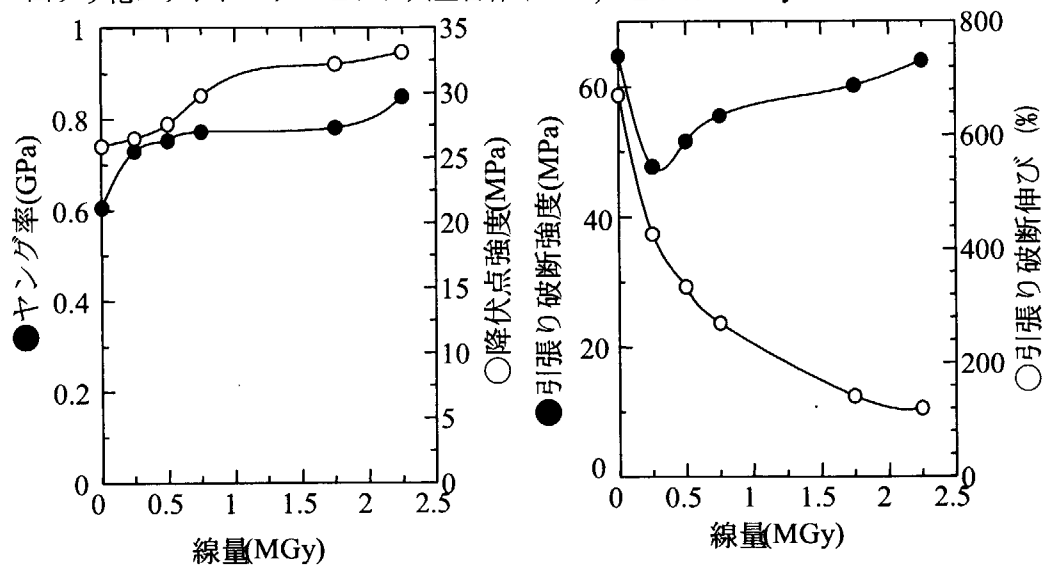


データシート No ETFE-1
 出典; Polymer, 30, 2054(1989)

材料名	四フッ化エチレン-プロピレン共重合体(ETFE)
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	不祥
形状	厚さ 125 μm、ASTM 1822ダンベルに切り出し
照射条件	電子線 2.5 kGy/s He 気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	0.605 ± 0.056	25.9 ± 0.9	64.7 ± 4.3	671 ± 29
0.25	0.739 ± 0.059	26.5 ± 0.5	47.7 ± 1.9	427 ± 39
0.50	0.752 ± 0.072	27.6 ± 1.2	51.6 ± 2.3	334 ± 53
0.75	0.772 ± 0.064	29.8 ± 0.6	55.5 ± 2.2	270 ± 13
1.75	0.780 ± 0.038	32.2 ± 0.9	60.1 ± 5.1	141 ± 14
2.25	0.848 ± 0.059	33.1 ± 0.8	63.9 ± 4.3	120 ± 14

四フッ化エチレン-プロピレン共重合体(ETFE) 電子線2.5kGy/s He気流中



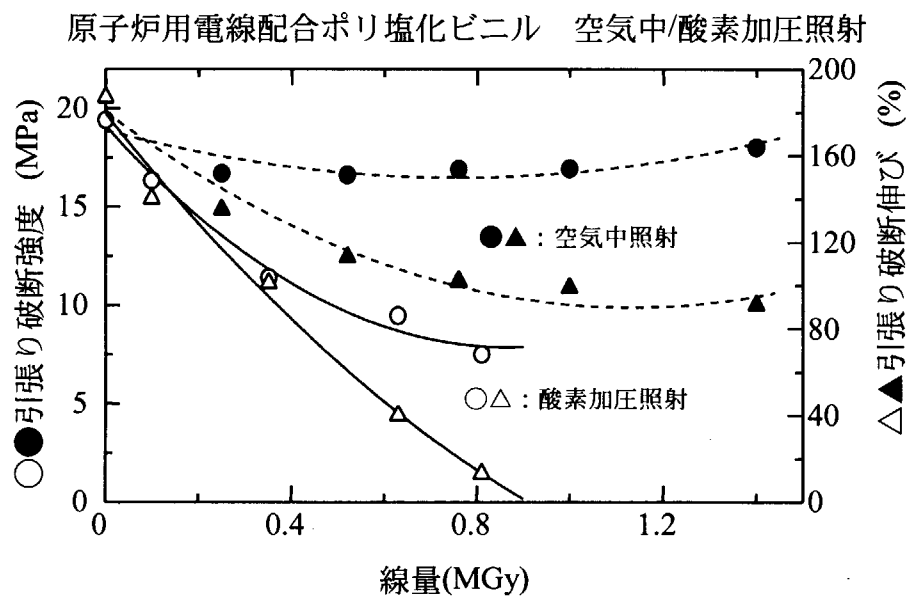
データシート No PVC-1

出典: 電気学会 絶縁材料研究会 EIM-82-133 (1982)

”酸素加圧下照射による電気絶縁材料の促進劣化”

材料名	原子炉電線用配合ポリ塩化ビニル
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料
製作会社	日立電線((株)
形状	厚さ 500 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	10 kGy/h 空气中 及び 2.8kGy/h 1MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 20mm/min)

高線量率 γ 線照射			酸素加圧 γ 線照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	19.40	187	0.00	19.40	187
0.25	16.70	135	0.10	16.35	140
0.52	16.62	113	0.35	11.40	101
0.76	16.92	102	0.63	9.48	40
1.00	16.94	99	0.81	7.51	13
1.40	18.03	91			



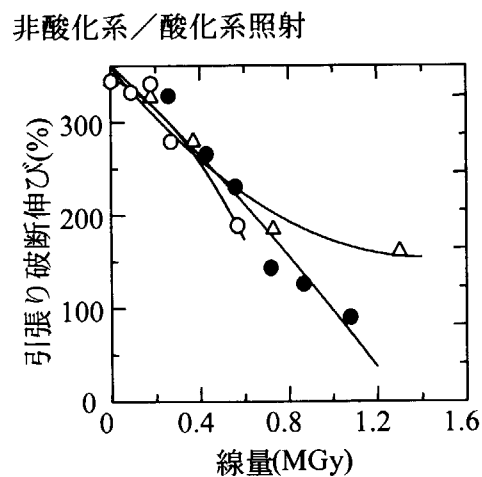
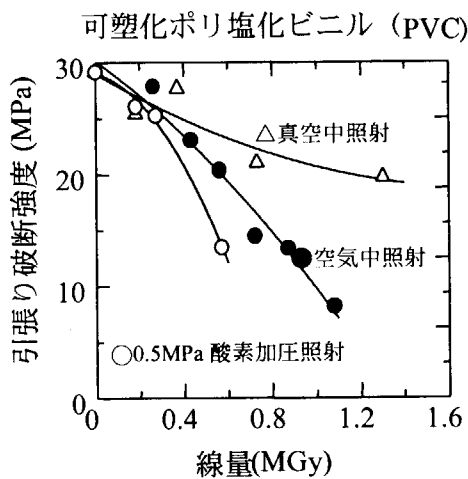
データシート No PVC-2

出典; PNC, SJ5500 89-001 (1989)

”受託研究報告書「貯蔵容器包蔵用ビニルバックの放射線効果評価試験Ⅲ」”

材料名	可塑化ポリ塩化ビニル
分子データ	PVC 100, 可塑剤 (トリオクチルトリメリテート) 50, エポキシ大豆油 50, 安定剤 2.8, 酸化防止剤 0.2 phr
主な用途	電線絶縁材料、シート
製作会社	日立電線((株))
形状	厚さ 500 μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線線量率 2.6kGy/h(空气中、0.5MPa酸素加圧、真空中)
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

真空中照射			空气中照射			酸素加圧照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	29.2	344	0.00	29.2	344	0.00	29.2	344
0.19	25.4	326	0.26	27.9	328	0.09	30.7	332
0.38	27.7	279	0.43	23.1	265	0.18	26.1	341
0.73	21.0	184	0.56	20.4	230	0.27	25.3	279
1.30	19.7	160	0.72	14.5	143	0.57	13.5	189
			0.87	13.4	126			
			0.11	8.2	90			

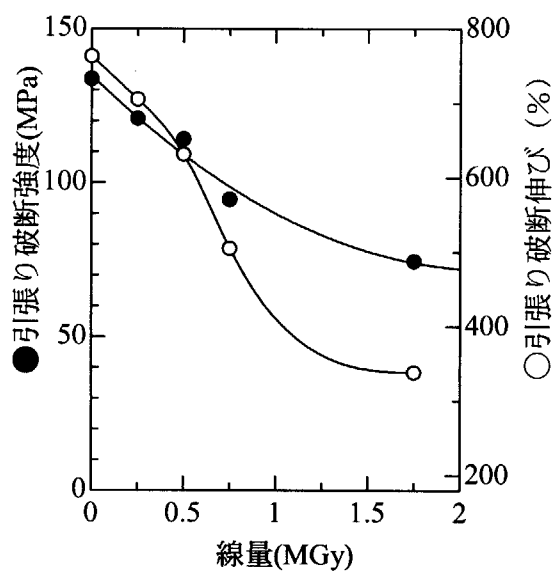
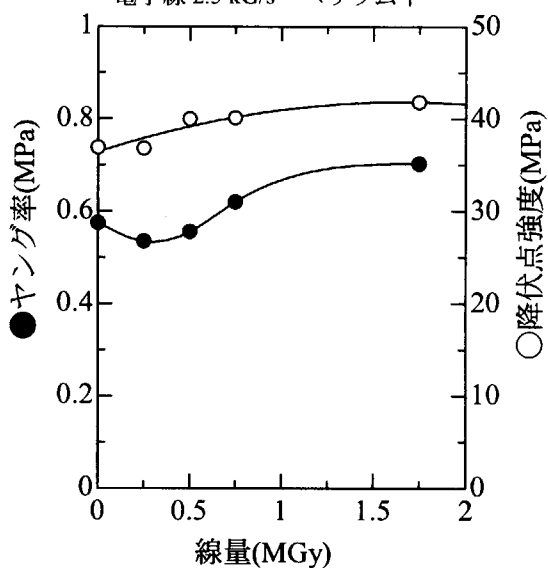


データシート No Nylon-1
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	ナイロン-6
主な用途	機械部品、パイプ、繊維
製作会社	東レ
形状	厚さ 125 μm、ASTM1822 ダンベルに切り出し
照射条件	電子線 2.5 kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	0.575 ± 0.18	36.9 ± 1.6	133.7 ± 9.0	763 ± 57
0.25	0.535 ± 0.38	36.8 ± 1.5	120.8 ± 9.4	704 ± 66
0.50	0.556 ± 0.37	40.0 ± 2.4	114.1 ± 6.6	631 ± 42
0.75	0.620 ± 0.21	40.1 ± 0.3	94.5 ± 9.4	505 ± 46
1.75	0.704 ± 0.67	41.7 ± 2.6	74.4 ± 10.1	338 ± 42

ナイロン-6
 電子線 2.5 kGy/s ヘリウム中



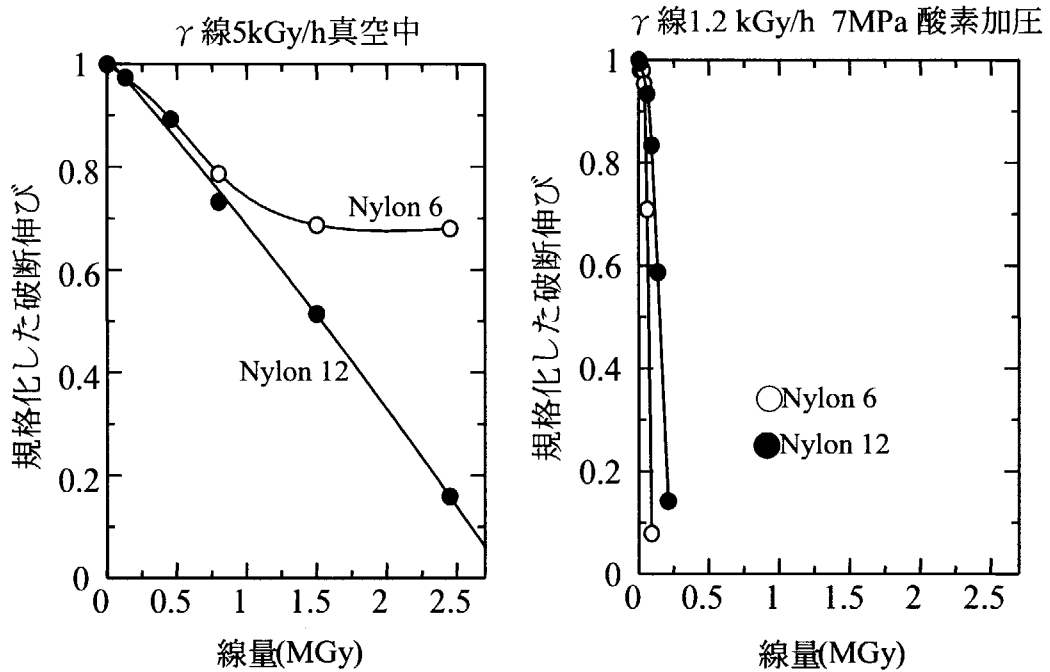
データシート No Nylon-2

出典;電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-83-131 (1983)

“ナイロンの耐放射線性”

材料名	ナイロン-6、ナイロン-12
主な用途	機械部品、パイプ、繊維
製作会社	東レ
形状	厚さ 200 μ m、JIS4号ダンベルダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、5 kGy/h 真空中 γ 線1.2 kGy/h 0.7 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

ナイロン-6 及び 1 2 の伸びの線量依存性の比較



データシート No EVA-1
 出典:原研 高崎研データ

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA
分子データ	酢酸ビニル20%含有
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	東レ
形状	厚さ 125 μm 、JIS4号ダンベルダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、4 kGy/h 窒素気流中 γ 線、4 kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

非酸化系照射

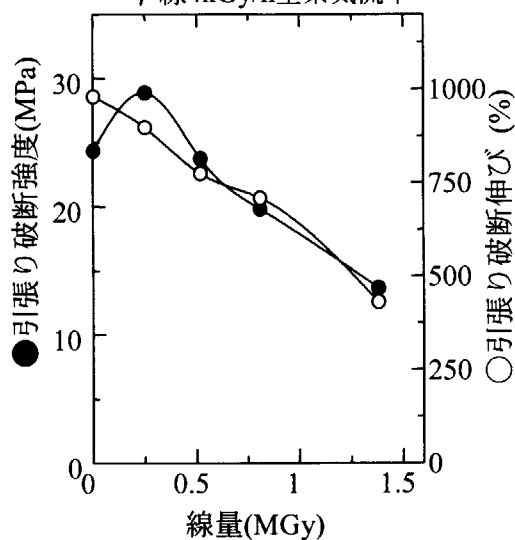
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	24.35 \pm 1.13	980 \pm 39
0.25	28.88 \pm 1.25	897 \pm 15
0.52	23.74 \pm 1.01	774 \pm 19
0.81	19.80 \pm 0.39	708 \pm 14
1.38	13.64 \pm 1.32	430 \pm 14

酸化系照射

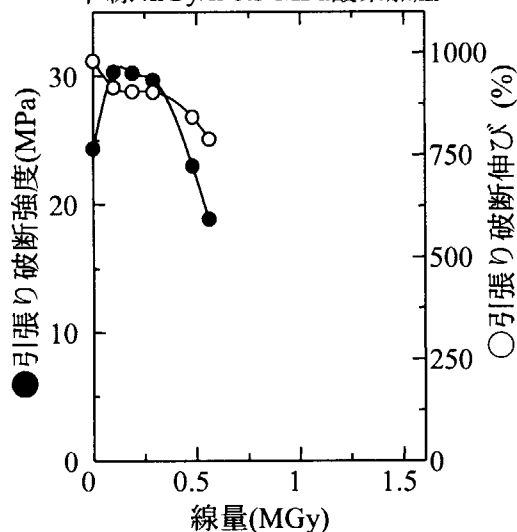
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	24.35 \pm 1.13	980 \pm 39
0.10	30.33 \pm 3.38	915 \pm 26
0.19	30.25 \pm 0.43	905 \pm 19
0.29	29.69 \pm 0.63	904 \pm 42
0.48	22.99 \pm 0.47	842 \pm 21
0.56	18.86 \pm 1.11	789 \pm 77

エチレン-酢酸ビニル共重合体EVA (酢酸ビニル20%)

γ 線4kGy/h窒素気流中



γ 線4kGy/h 0.5 MPa酸素加圧



データシート No EVA-2
出典;原研 高崎研データ

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA
分子データ	酢酸ビニル15%含有
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	東レ
形状	厚さ 125 μm、JIS4号ダンベルダンベルに切り出し
照射条件	γ線、4 kGy/h 窒素気流中 γ線、4 kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

非酸化系照射

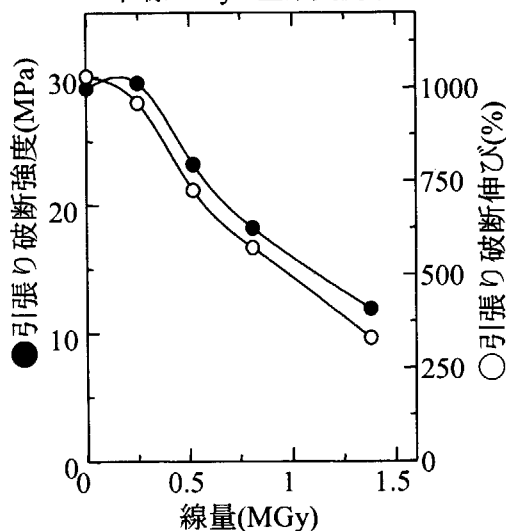
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	29.12 ± 0.31	1031 ± 35
0.25	29.54 ± 0.56	960 ± 16
0.52	23.20 ± 0.70	726 ± 42
0.81	18.21 ± 0.57	572 ± 12
1.38	11.89 ± 2.00	330 ± 66

酸化系照射

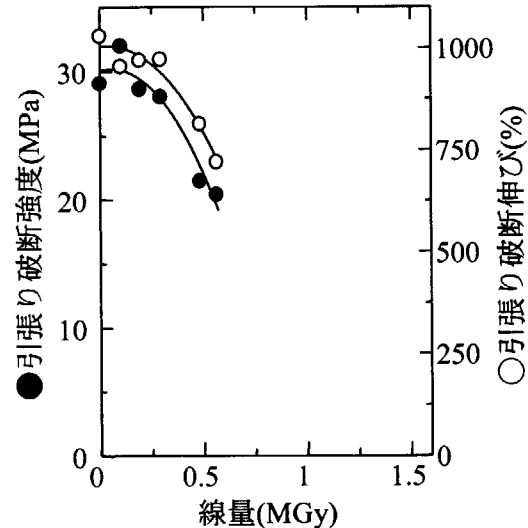
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	29.12 ± 0.31	1031 ± 35
0.10	32.04 ± 4.50	957 ± 119
0.19	28.67 ± 1.03	972 ± 22
0.29	28.06 ± 1.87	974 ± 19
0.48	21.48 ± 1.06	815 ± 39
0.56	20.43 ± 0.94	722 ± 18

エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA (酢酸ビニル15%)

γ線4kGy/h窒素気流中



γ線4kGy/h 0.5 MPa酸素加圧



データシート No EVA-3
 出典;原研 高崎研データ

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA
分子データ	酢酸ビニル8%含有
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	東レ
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、4 kGy/h 窒素気流中 γ 線、4 kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

非酸化系照射

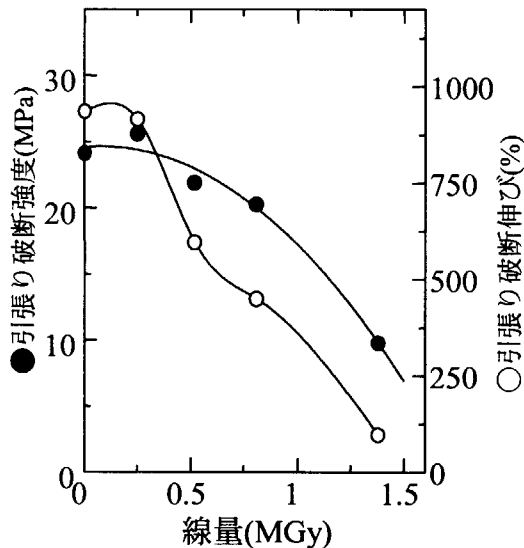
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	24.11 \pm 0.37	935 \pm 26
0.25	25.61 \pm 0.15	915 \pm 20
0.52	21.90 \pm 1.07	596 \pm 21
0.81	20.26 \pm 1.12	450 \pm 12
1.38	9.79 \pm 0.16	97 \pm 6

酸化系照射

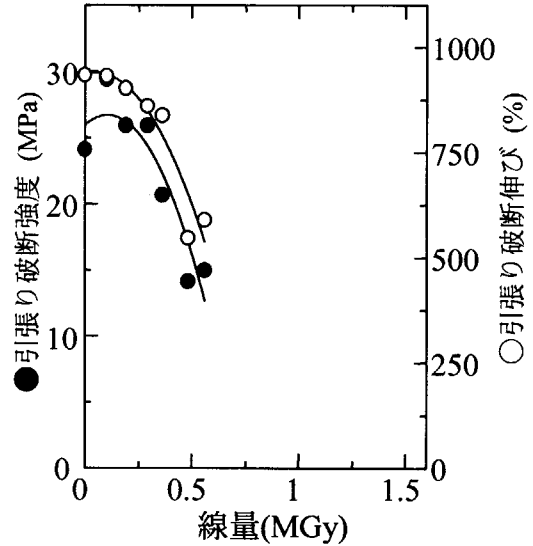
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	24.11 \pm 0.37	935 \pm 26
0.10	29.41 \pm 0.28	932 \pm 17
0.19	25.95 \pm 0.74	903 \pm 46
0.29	25.93 \pm 0.91	861 \pm 31
0.36	20.66 \pm 0.92	839 \pm 44
0.48	14.15 \pm 0.92	548 \pm 46
0.56	14.98 \pm 1.59	590 \pm 66

エチレン-酢酸ビニル共重合体EVA (酢酸ビニル8%)

γ 線4kGy/h窒素気流中



γ 線4kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧



データシート No EVA-4
出典: 原研 高崎研データ

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA
分子データ	酢酸ビニル5%含有
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	東レ
形状	厚さ 125 μm、JIS4号ダンベルダンベルに切り出し
照射条件	γ線、4 kGy/h 窒素気流中 γ線、4 kGy/h 0.5 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

非酸化系照射

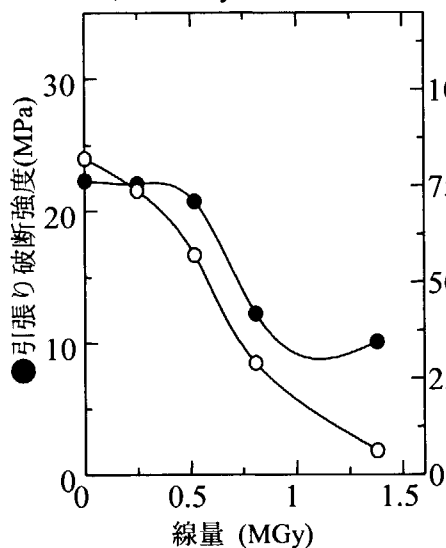
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	22.3 ± 0.33	822 ± 25
0.25	22.07 ± 1.13	739 ± 48
0.52	20.72 ± 1.91	571 ± 41
0.81	12.21 ± 1.77	290 ± 41
1.38	10.05 ± 0.22	62 ± 6

酸化系照射

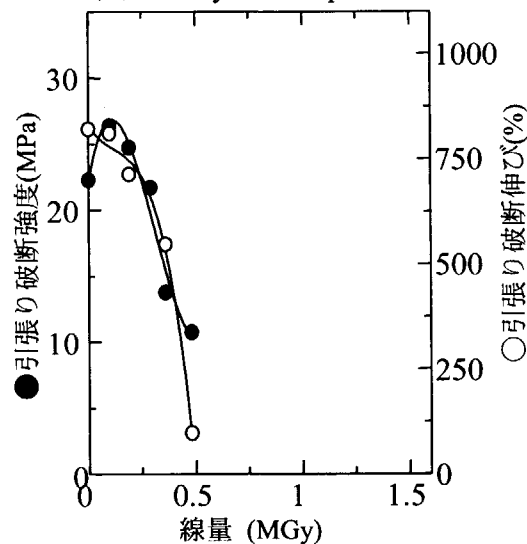
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	22.3 ± 0.33	822 ± 25
0.10	26.38 ± 0.36	812 ± 8
0.19	21.76 ± 0.93	714 ± 24
0.29	21.72 ± 0.82	7281 ± 26
0.36	13.76 ± 0.93	547 ± 70
0.48	10.75 ± 0.14	98 ± 30

エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA (酢酸ビニル5%)

γ線 4kGy/h窒素気流中



γ線 4kGy/h 0.5 Mpa 酸素加圧



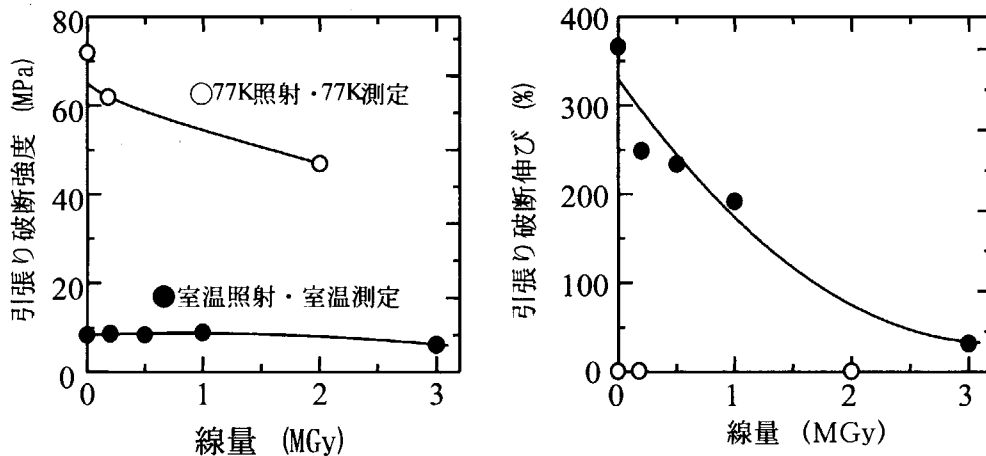
データシート No EVA-5

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体 EVA
分子データ	
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作会社	Kabelmetal elektro
形状	厚さ 100 μm
照射条件1	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	引張り試験(室温、77K、引張り速度; 3 & 50mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	8.6 ± 0.7	366 ± 16	72 ± 13	1.0 ± 0.0
0.18			62 ± 12	1.3 ± 0.1
0.20	8.2 ± 1.8	249 ± 13		
0.50	7.1 ± 1.0	234 ± 16		
1.00	6.5 ± 0.6	192 ± 15		
2.00			47 ± 2.6	1.0 ± 0.0
3.00	6.7 ± 1.0	32 ± 12		

エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) 照射温度依存性 (原子炉照射)



2. エラストマー

可とう性に富むエラストマー(ゴム)は電線のジャケット、Oリング、シート状のシール材料、防震・免震材料として多用されると思われる。

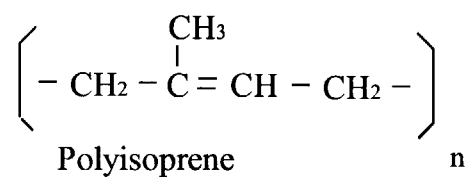
ゴムは、三次元の網目構造を持っており、応力がかかると伸び、応力が無くなると元にもどると言うエントロピー弾性を示す材料である。室温でを使用することを考慮して、ガラス転移温度の低い高分子を橋架け(架橋)する方法で製造される。

天然ゴムやポリブタジエンゴムは分子内の2重結合の間を硫黄で橋架けする加硫と呼ばれる方法がとられ、エチレン-プロピレン共重合体(EPR, EPDM)では過酸化物を用いて直接C-C間に橋架けを導入する。

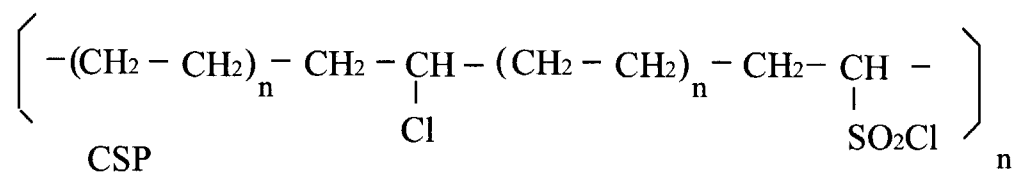
多量のカーボンブラックやオイルを配合し、目的に合致した架橋促進剤を混合して、種々の要求特性を満足させる。そのため、天然ゴムと一口に言っても、配合により物性が変わり、耐放射線性も変わる。ここでは、配合が明記されている材料に関する耐放射線性データを主に掲載した。なお、配合は代表的なものである。

エラストマーの分子構造

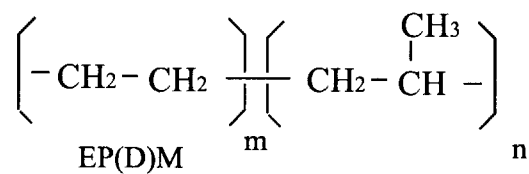
天然ゴム



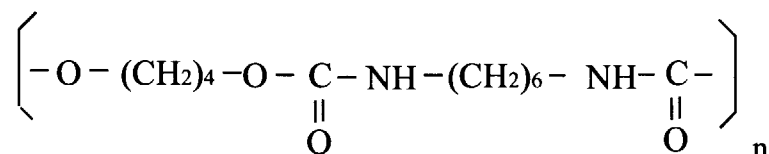
クロロスルホン化ポリエチレン(ハイパロン)



EPゴム



ポリウレタンエラストマーの例



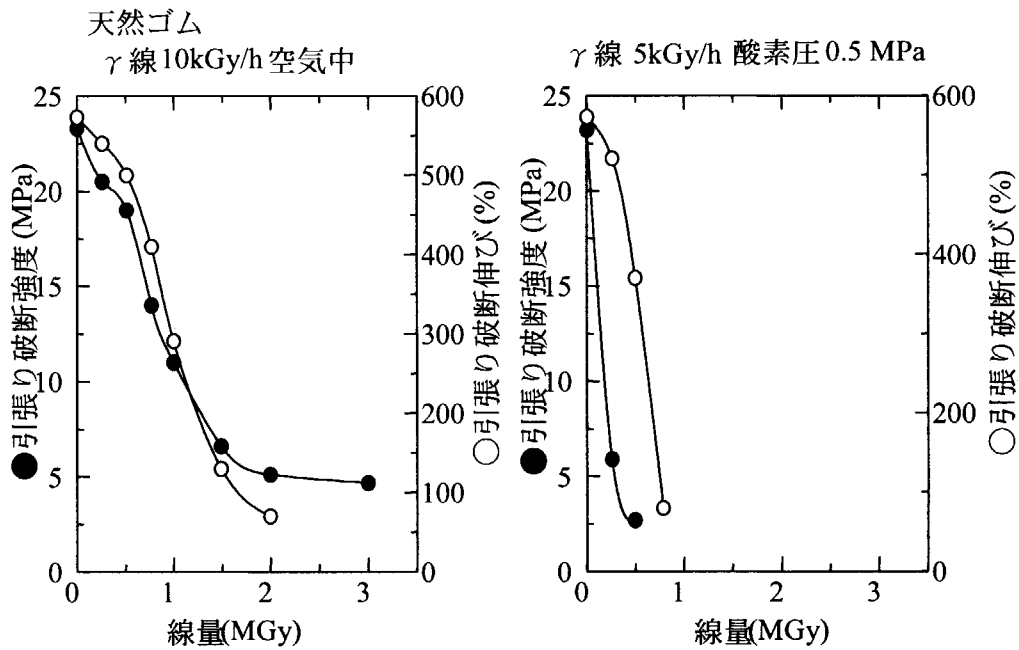
データシート No Elast-1

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-82-114 (1982)
 ”酸素加圧下照射による各種高分子の耐放射線性評“

材料名	天然ゴム
分子データ	ポリイソプレン、配合は下表
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;10kGy/h、空气中 γ線、線量率;5kGy/h、0.5 MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;500mm/min)

原料ゴム	硫黄	Noc.D	Noc.M	ZnO	N-224	St.A	Talc
100	2	0.1	0.8	5	1	1	50

Noc.D:Nocrac D, Noc.M:Nocrac M, N-224:Nocrac 224 ,St.A:Stearic Acid,



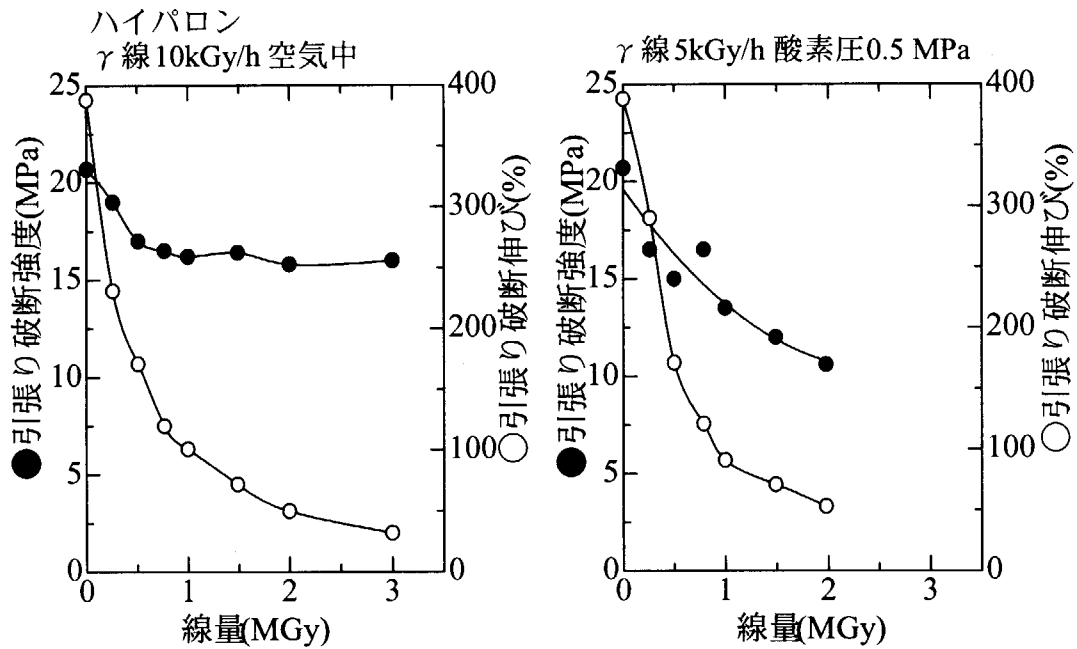
データシート No Elast-2

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-82-114 (1982)
 ”酸素加圧下照射による各種高分子の耐放射線性評“

材料名	ハイパロン
分子データ	クロルスルホン化ポリエチレン、配合は下表
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率;10kGy/h、空气中 γ 線、線量率;5kGy/h、0.5 MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;500mm/min)

原料ゴム	Mgo	TiO	Sft 1500	TRA
100	20	25	50	2

Sft 1500: Soften 1500, TRA: Accel TRA



データシート No Elast-3

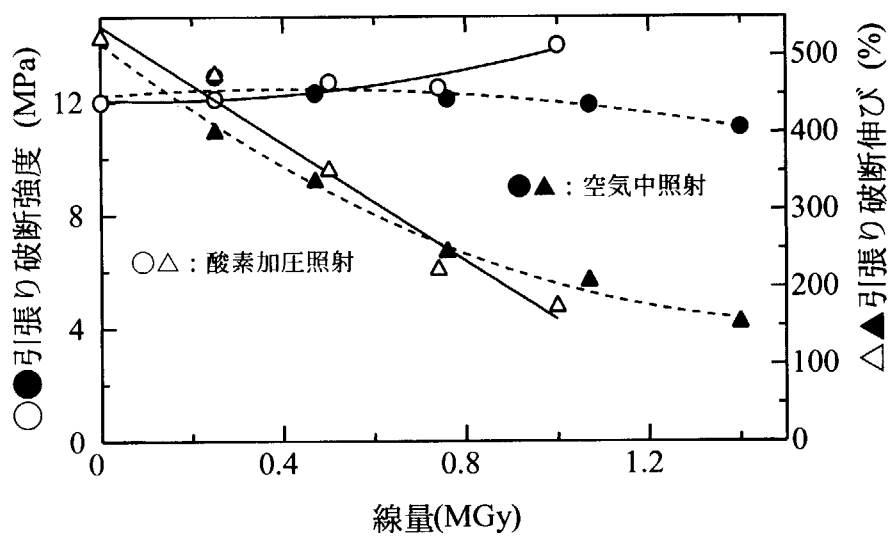
出典：電気学会 絶縁材料研究会 EIM-82-133 (1982)

”酸素加圧下照射による電気絶縁材料の促進劣化”

材料名	ハイパロン
分子データ	原子炉用電線配合
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	10 kGy/h 空气中 及び 2.8kGy/h 1MPa 酸素加圧
照射条件2	γ線、線量率;5kGy/h、0.5 MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;500mm/min)

高線量率γ線照射			酸素加圧γ線照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	12.0	522	0.0	12.0	522
0.25	12.9	400	0.25	12.1	474
0.47	12.3	336	0.50	12.7	351
0.76	12.1	245	0.74	12.5	222
1.07	11.9	207	1.00	14.0	174
1.40	11.1	153			

原子炉用電線配合ハイパロン 空气中/酸素加圧照射



データシート No Elast-4

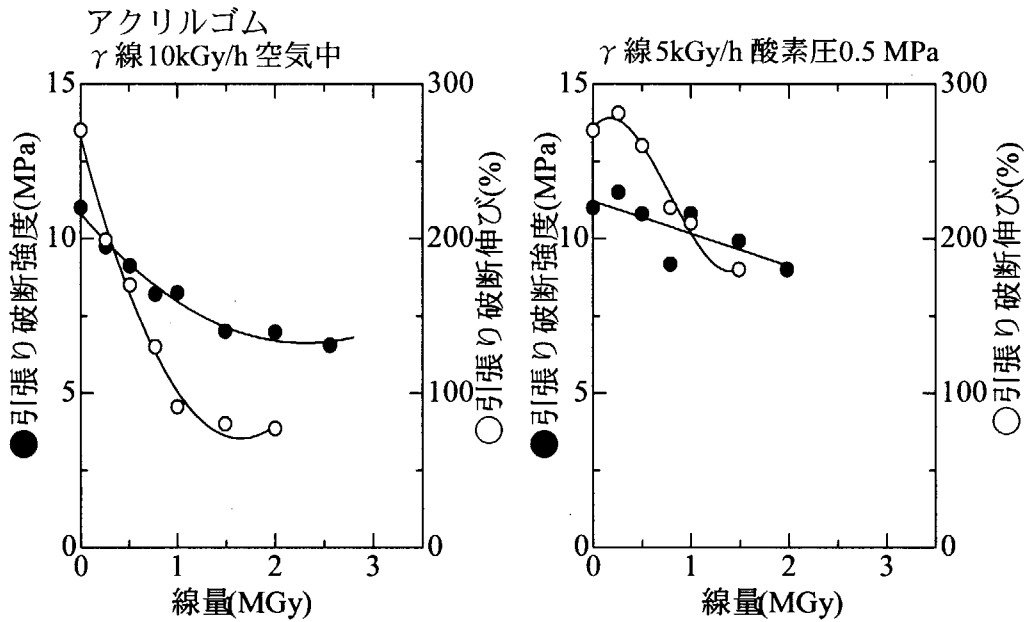
出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-82-114 (1982)
 ”酸素加圧下照射による各種高分子の耐放射線性評“

材料名	アクリルゴム
分子データ	アクリル酸エステル共重合体、配合は下表
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;10kGy/h、空气中 γ線、線量率;5kGy/h、0.5 MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;500mm/min)

原料ゴム	St.A	HTC	Diak	N-224
100	1	40	0.5	1.5

St.A:Stearic Acid, N-224:Nocrac 224

HTC: Carbon black, Diak:Diak No3



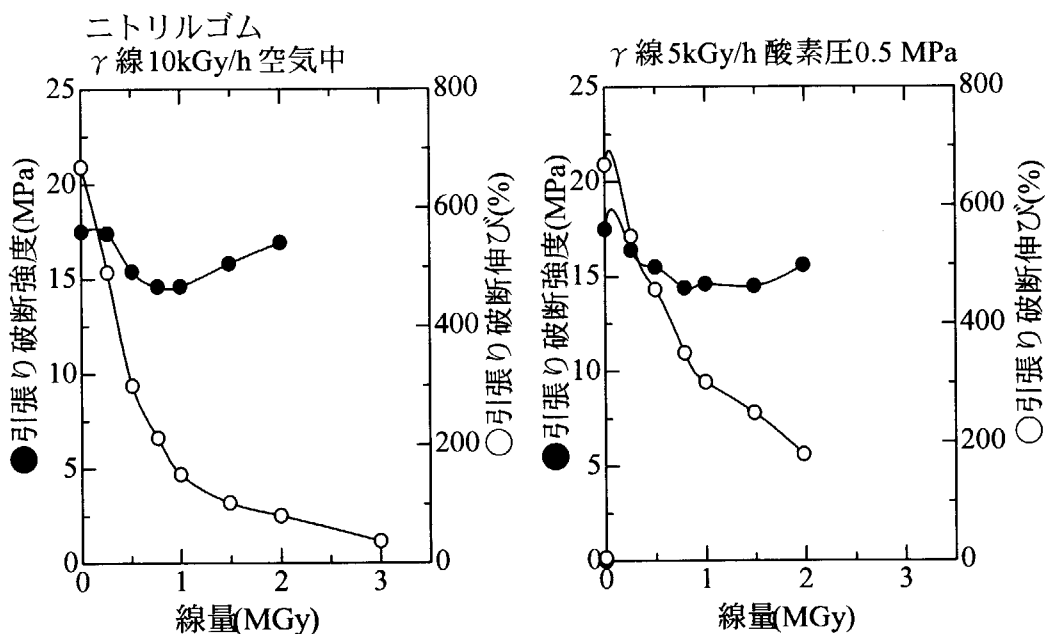
データシート No Elast-5

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-82-114 (1982)
 ”酸素加圧下照射による各種高分子の耐放射線性評“

材料名	ニトリルゴム
分子データ	ブタジエン・アクリロニトリル共重合体、配合は下表
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;10kGy/h、空气中 γ線、線量率;5kGy/h、0.5 MPa 酸素加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;500mm/min)

原料ゴム	ZnO	St.A	HTC	DOP	TT	CZ
100	5	1	60	50	3	3

St.A:Stearic Acid, HTC: Carbon black, DOP: Dicumyl peroxide,
 TT: Noccler TT, CZ: Accel CZ

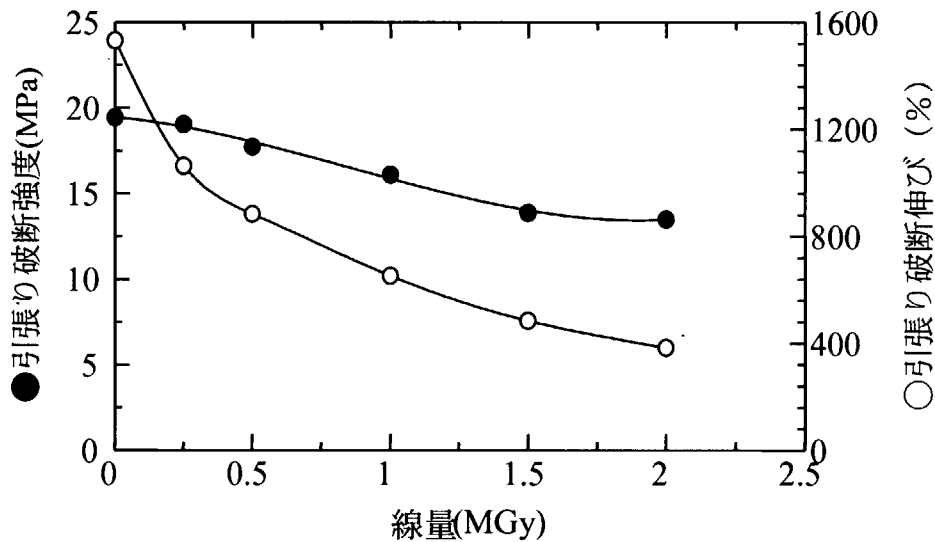


データシート No Elast-6
 出典: Polymer, 30, 2054(1989)

材料名	エチレン-プロピレンゴム (EPDM)
分子データ	カーボンブラック 20 phr
製作者	日立電線(株)
形状	厚さ 0.2mm、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
照射条件1	電子線 2.5 kGys He 気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	19.44 ± 0.81	1532 ± 73
0.25	19.05 ± 0.68	1063 ± 47
0.50	17.73 ± 0.79	884 ± 43
1.00	16.10 ± 0.83	653 ± 57
1.50	13.88 ± 1.09	484.8 ± 58
2.00	13.50 ± 0.62	384 ± 35

エチレン-プロピレンゴム (EPDM) 電子線 2.5kGy/s He 気流中



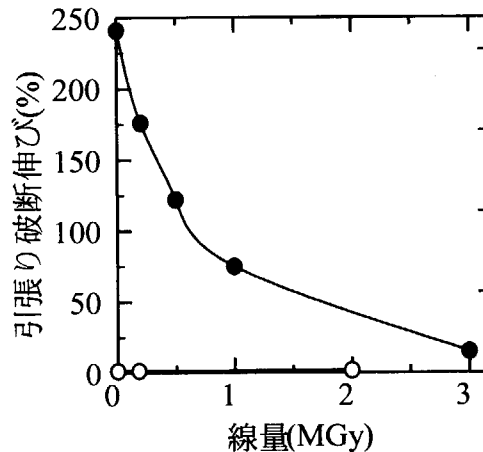
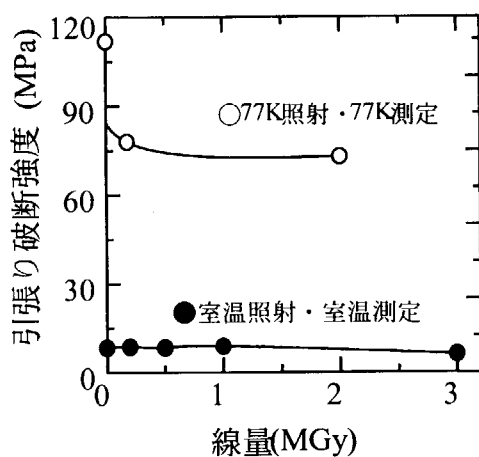
データシート No Elast-7

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	エチレン-プロピレンゴム (EPDM)
分子データ	
製作者	BP kabelmetal electro
形状	厚さ 0.4mm
照射条件1	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA 7 MW pool reactors (Austria)
測定	引張り試験 (77K, 室温, 引張り速度; 50mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	8.4 ± 0.2	241 ± 11	112 ± 8.9	1.4 ± 0.0
0.18			78 ± 11	1.6 ± 0.1
0.20	8.7 ± 0.4	176 ± 11		
0.50	8.4 ± 0.8	122 ± 13		
1.00	8.9 ± 0.2	75 ± 6		
2.00			73 ± 8.9	1.7 ± 0.2
3.00	6.2 ± 0.6	15 ± 5		

エチレン-プロピレン共重合体 (EPR) 照射温度依存性 (原子炉照射)



データシート No Ure-1

出典: 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-89-114 (1989)

“熱可塑性ポリウレタンエラストマーの耐放射線性”

材料名	熱可塑性ポリウレタンエラストマー
分子データ	ジイソシアネート+ポリエーテル系ポリオール(38%)
主な用途	電線絶縁材料、パイプ・ホース
製作会社	
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率; 10 kGy/h、空气中 γ線、線量率; 4.6 kGy/h、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

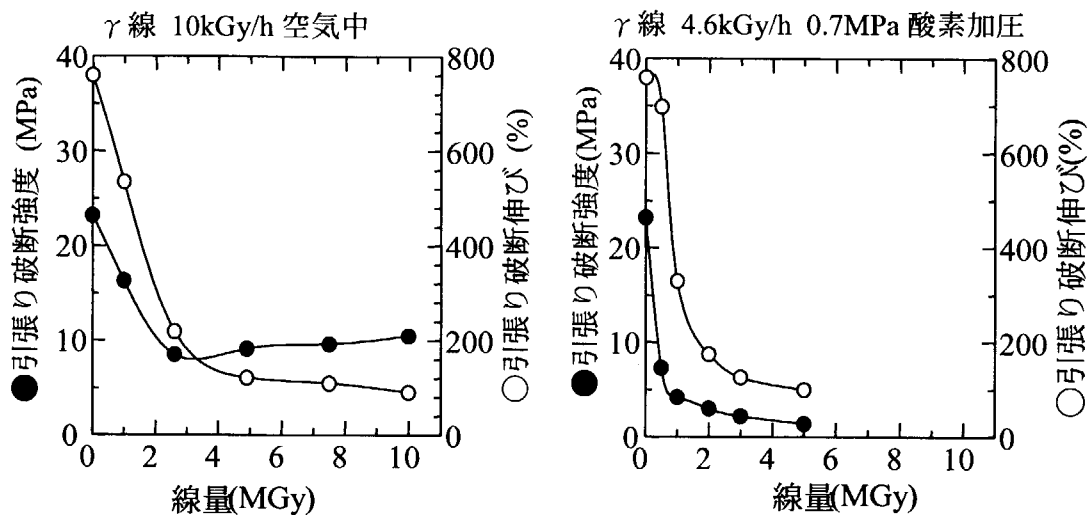
空气中照射 10kGy/h

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	3.5	23.2	760
1.0	3.7	16.3	535
2.6	4.0	8.5	219
4.9	5.2	9.1	121
7.5	5.9	9.6	109
10.0	-	10.5	90

酸素加圧照射 4.6kGy/h 酸素圧 0.7MPa

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	3.5	23.2	760
0.5	3.3	7.3	698
1.0	3.1	4.2	330
2.0	2.4	3.0	175
3.0	1.9	2.2	126
5.0	-	1.4	100

熱可塑性ウレタン (エーテル系)



データシート No Ure-2

出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-89-114 (1989)

“熱可塑性ポリウレタンエラストマーの耐放射線性”

材料名	熱可塑性ポリウレタンエラストマー
分子データ	ジイソシアネート+カプロ系ポリオール(38%)
主な用途	電線絶縁材料、パイプ・ホース
製作会社	
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 10 kGy/h、空气中 γ 線、線量率; 4.6 kGy/h、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

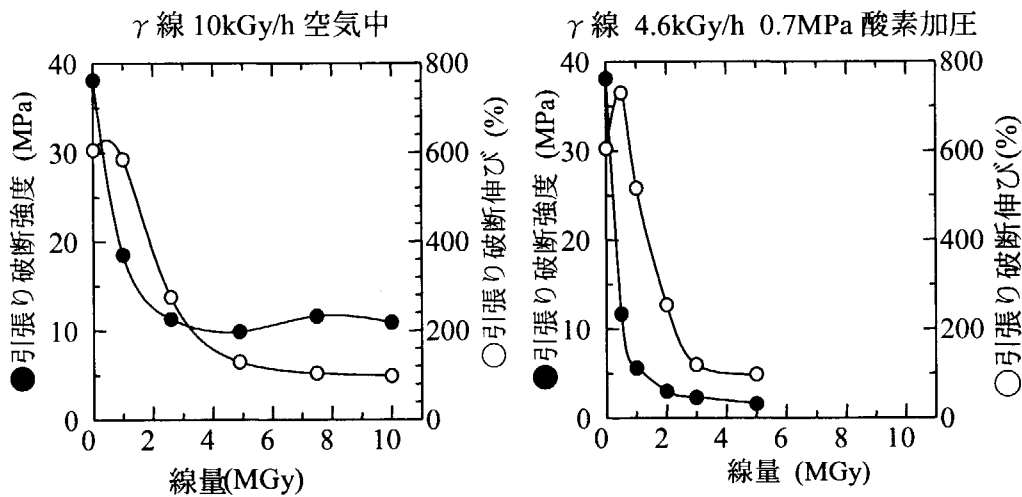
空气中照射 10kGy/h

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	4.0	38.1	605
1.0	4.0	18.5	585
2.6	4.2	11.3	275
4.9	5.2	9.9	130
7.5	6.9	11.6	104
10.0	-	10.9	98

酸素加圧照射 4.6kGy/h 酸素圧 0.7MPa

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	4.0	38.1	605
0.5	3.5	11.7	730
1.0	3.2	5.6	516
2.0	2.5	3.0	154
3.0	2.1	2.3	120
5.0	-	1.6	98

熱可塑性ウレタン (カプロ系)



データシート No Ure-3

出典;電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-89-114 (1989)
 “熱可塑性ポリウレタンエラストマーの耐放射線性”

材料名	熱可塑性ポリウレタンエラストマー
分子データ	ジイソシアネート+エステル系ポリオール(38%)
主な用途	電線絶縁材料、パイプ・ホース
製作会社	
形状	厚さ 1mm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率;10 kGy/h、空气中 γ線、線量率;4.6 kGy/h、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

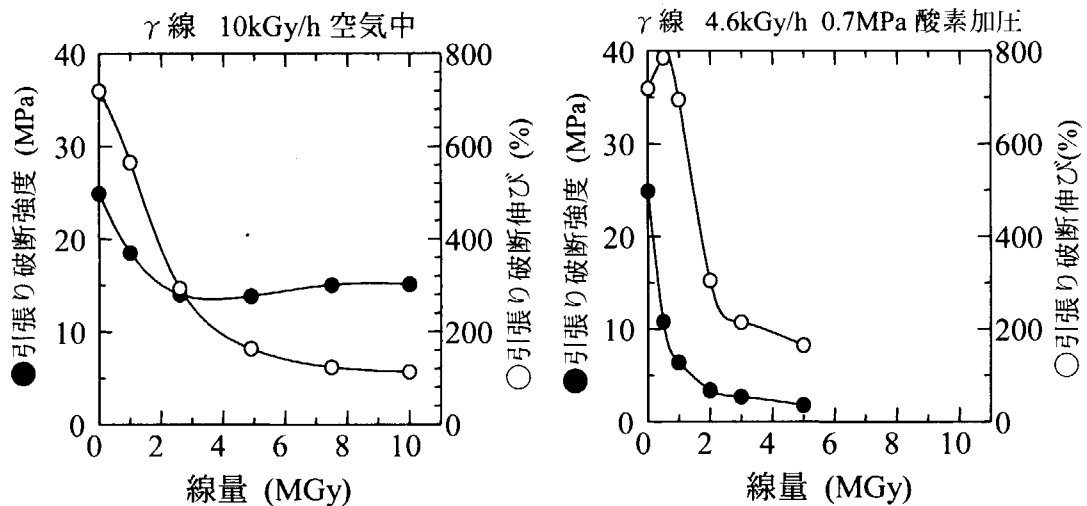
空气中照射 10kGy/h

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	4.4	24.9	719
1.0	4.8	18.5	565
2.6	4.9	14.0	293
4.9	5.8	13.8	163
7.5	7.1	15.0	123
10.0	7.5	15.1	113

酸素加圧照射 4.6kGy/h 酸素圧 0.7MPa

線量 MGy	100%モジュラス MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	4.4	24.9	719
0.5	4.1	10.8	785
1.0	3.6	6.4	695
2.0	2.9	3.4	305
3.0	2.3	2.7	215
5.0	1.5	1.8	165

熱可塑性ウレタン (エステル系)



3. 芳香族系熱可塑性樹脂

1980年代はじめに実使用が開始された主鎖が全て芳香族ユニットで構成された全芳香族高分子は、機械的特性及び耐熱性の面で脂肪族のエンジニアリングプラスチックをはるかに上回っている。また、耐薬品性にも優れている。

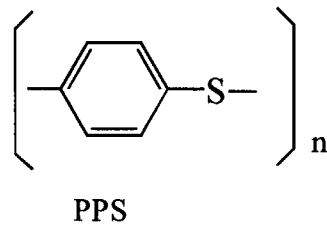
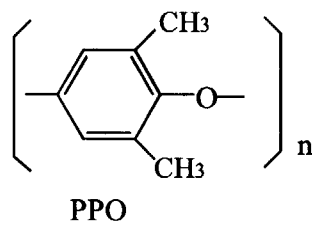
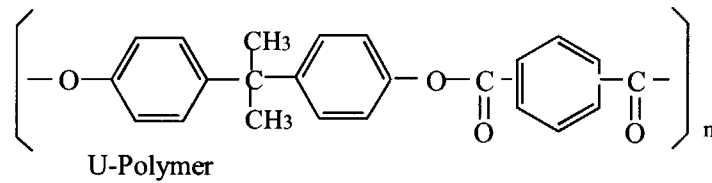
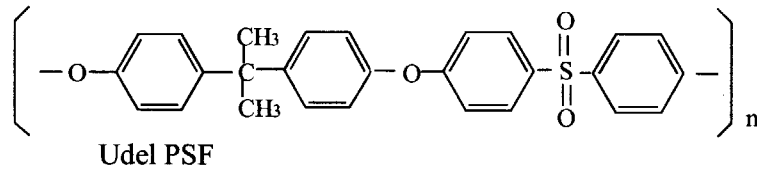
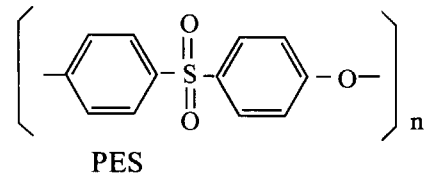
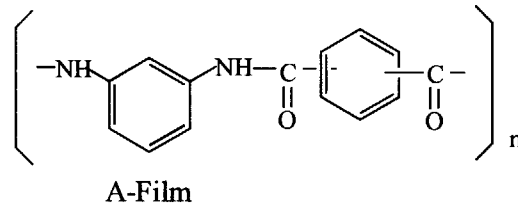
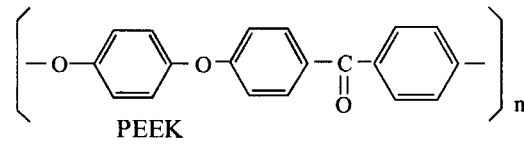
全芳香族ポリイミドの例から、耐熱性の高い高分子は耐放射線性も高いと考えられており、核融合炉や宇宙で使用される機器のように厳しい放射線環境で使用するのに適した材料であると考えられていた。

しかし、実際に放射線照射試験を行ってみると主鎖を構成する芳香族ユニットの分子構造により耐放射線性が大きく変わることが明らかになった。その概略は第1章にまとめてある。

優れた機械的特性、耐熱性、耐薬品性を持つため、動力機器のハウジング・ケーシング、ポンプのインペラー、ギヤー等の機械部品や高耐熱性電線被覆材料に使用される。

したがって、種々雑多な放射線環境で用いられる可能性が高いため、非酸化系照射、酸化系照射でのデータばかりでなく、高温・極低温下での照射効果のデータ、高温特性に及ぼす照射効果を集め掲載した。なお、非酸化系照射では、①高線量率電子線空気中照射、②高線量率電子線不活性ガス中照射及び③真空中照射など多岐にわたり掲載した。照射試料厚100 μm 程度のフィルム試料を使用している実験が多く、①高線量率電子線・空気中照射の場合には、表面の放射線酸化相が機械的特性に影響を与えていることがあることがあり、注意を要する。

芳香族系熱可塑性樹脂の分子構造



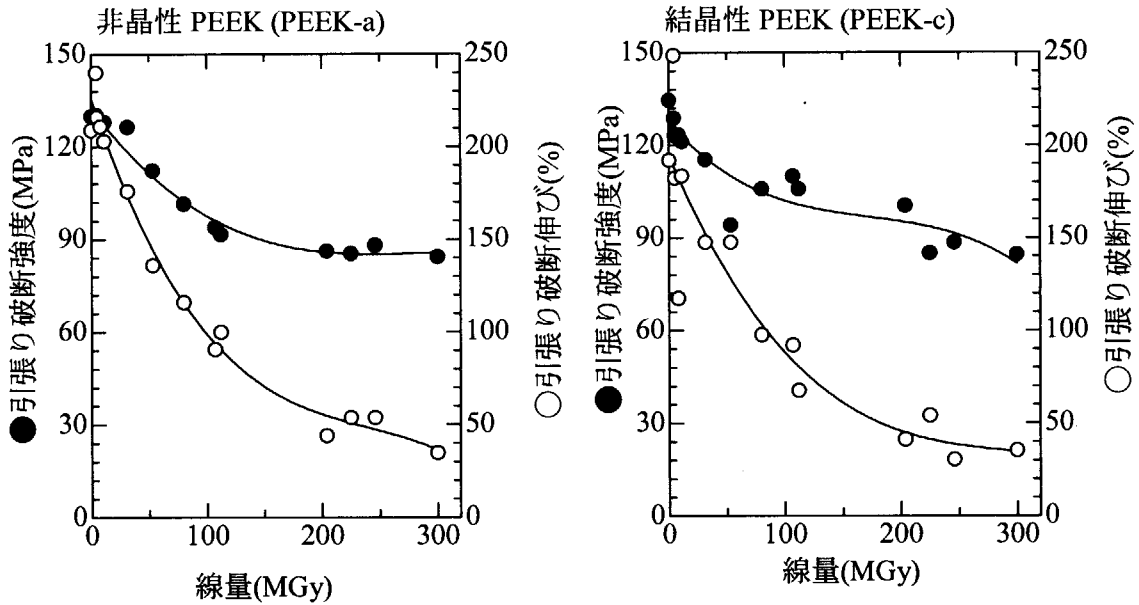
データシート No ATP-1

出典：武蔵工業大学大学院 修士論文(1995)

“核融合炉用絶縁材料の耐放射線性に関する研究“

材料名	非晶性及び結晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-keton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学(株)
形状	厚さ100 μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率;6.1~6.7 kGy/s、ヘリウムガス気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

窒素気流中大線量電子線照射

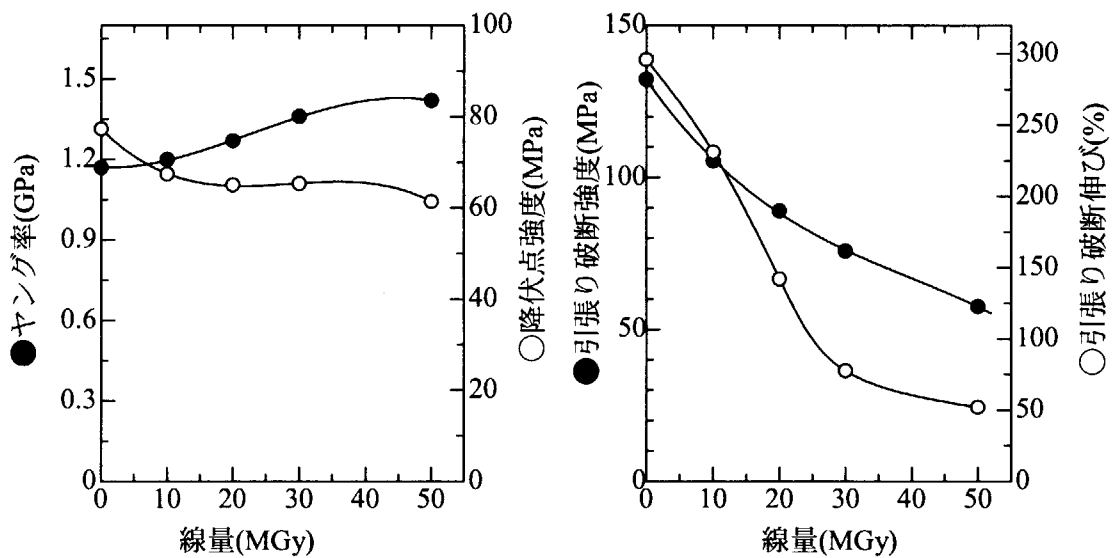


データシート No ATP-2
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	非晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学(株)
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率;5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.17 \pm 0.08	77.3 \pm 1.2	132.3 \pm 13.9	296 \pm 33
10.0	1.20 \pm 0.02	67.4 \pm 0.8	105.4 \pm 5.1	231 \pm 12
20.0	1.27 \pm 0.04	65.0 \pm 1.9	89.0 \pm 1.2	142 \pm 6
30.0	1.36 \pm 0.09	65.3 \pm 3.1	75.8 \pm 4.0	77.6 \pm 8.1
50.0	1.42 \pm 0.02	61.4 \pm 3.6	57.5 \pm 4.0	52 \pm 7

非晶性 PEEK (PEEK-a) 電子線 空气中照射



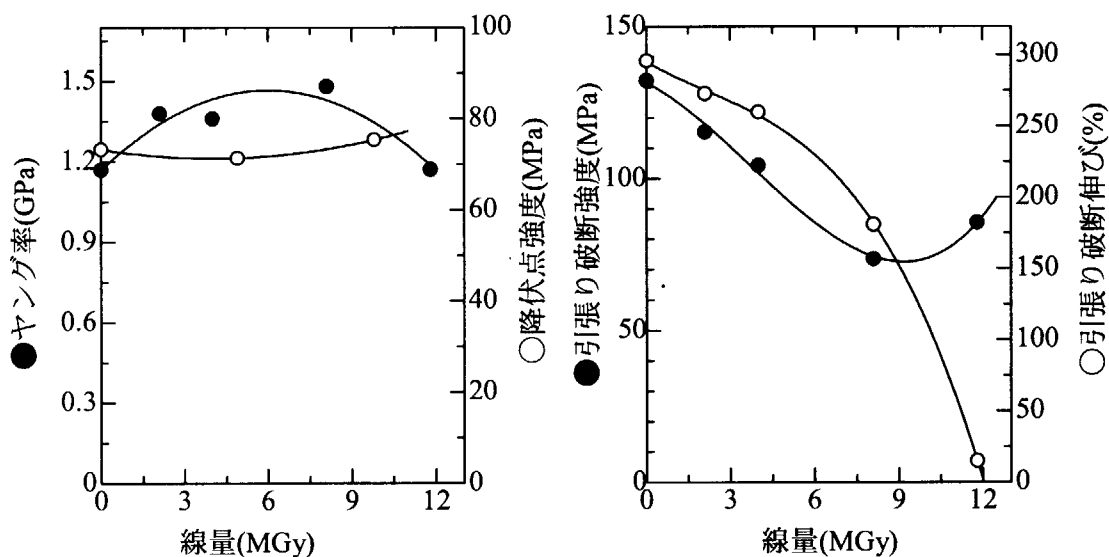
データシート No ATP-3

出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	非晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学(株)
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素加圧下
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度	破断強度	破断伸び
		MPa	MPa	%
0.0	1.17 \pm 0.08	73.3 \pm 1.2	132.3 \pm 13.9	296 \pm 33
2.1	1.38 \pm 0.10	77.5 \pm 2.9	115.3 \pm 4.3	273 \pm 9
4.0	1.36 \pm 0.17	76.0 \pm 2.1	104.3 \pm 3.9	260 \pm 23
8.1	1.48 \pm 0.10	76.3 \pm 1.5	73.5 \pm 2.9	181 \pm 23
11.8	1.17 \pm 0.05		85.5 \pm 1.1	15 \pm 9

非晶性 PEEK (PEEK-a) 0.7MPa 酸素加圧 γ 線照射



データシート No ATP-4

出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	非晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学(株)
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150 $^{\circ}$ C照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

PEEK-a γ 線 窒素気流中 50 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.53 \pm 0.09	77.4 \pm 1.2	152.0 \pm 3.3	360 \pm 8
3.67	1.59 \pm 0.06	72.8 \pm 1.2	134.2 \pm 4.0	324 \pm 13
7.32	1.96 \pm 0.04	69.1 \pm 1.1	122.3 \pm 3.2	305 \pm 7
15.20	1.75 \pm 0.03	73.2 \pm 3.3	106.9 \pm 5.7	256 \pm 18

PEEK-a γ 線 窒素気流中 100 $^{\circ}$ C照射

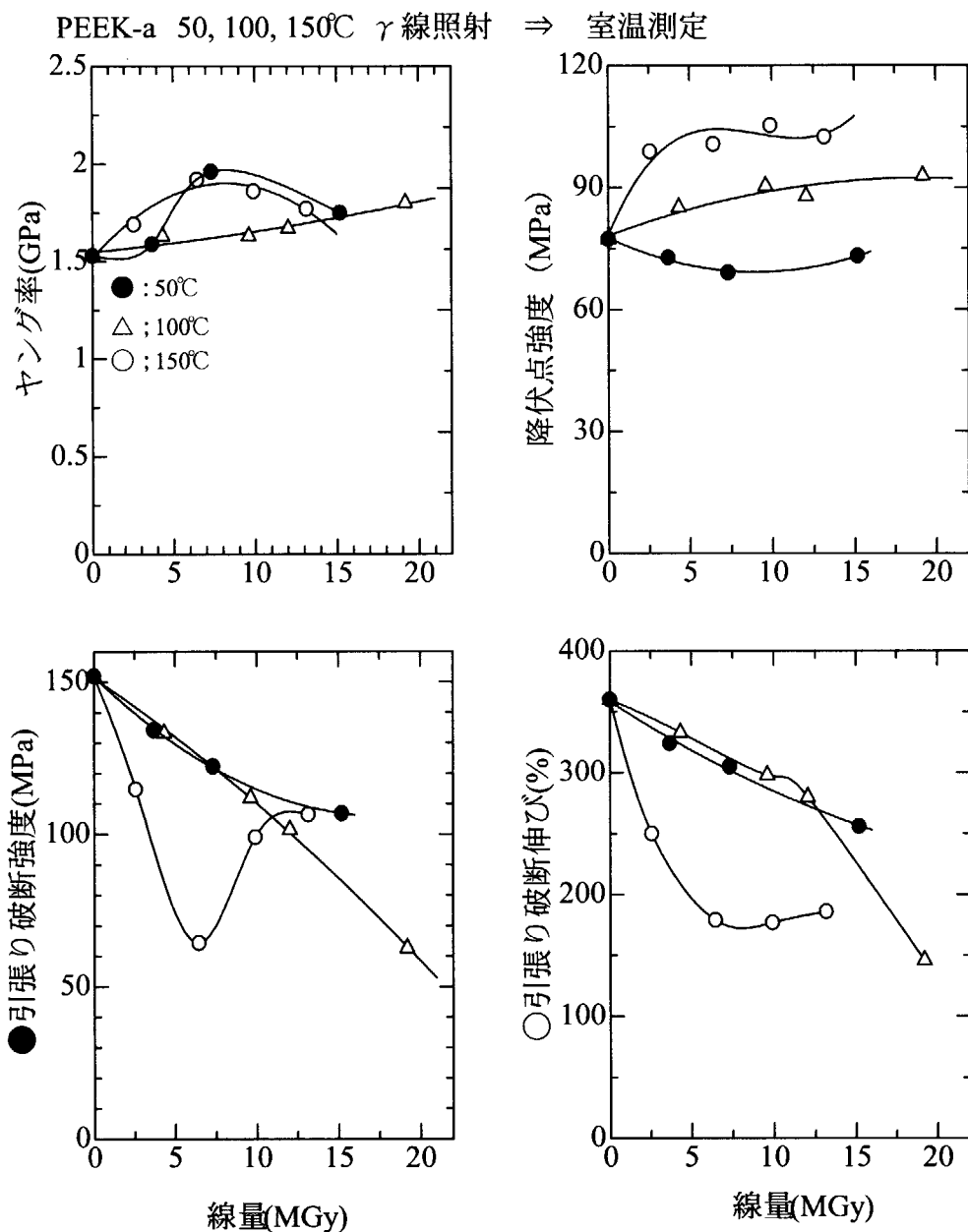
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.53 \pm 0.09	77.4 \pm 1.2	152.0 \pm 3.3	360 \pm 8
4.33	1.63 \pm 0.09	85.2 \pm 1.8	133.3 \pm 6.5	333 \pm 14
9.60	1.63 \pm 0.16	90.4 \pm 4.7	112.0 \pm 7.1	298 \pm 24
12.04	1.67 \pm 0.13	87.9 \pm 2.1	101.6 \pm 2.0	280 \pm 5
19.20	1.80 \pm 0.18	92.9 \pm 1.5	62.7 \pm 4.7	146 \pm 72

PEEK-a γ 線 窒素気流中 150 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.53 \pm 0.09	77.4 \pm 1.2	152.0 \pm 3.3	360 \pm 8
2.56	1.69 \pm 0.08	98.9 \pm 2.3	114.8 \pm 7.8	250 \pm 21
6.45	1.92 \pm 0.08	100.7 \pm 3.1	64.4 \pm 12.7	179 \pm 54
9.90	1.86 \pm 0.02	105.3 \pm 7.0	99.1 \pm 13.2	177 \pm 33
13.16	1.77 \pm 0.05	102.5 \pm 1.4	106.5 \pm 2.5	186 \pm 45

プロットは次ページ

非晶性PEEK照射温度依存性プロット



データシート No ATP-5

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

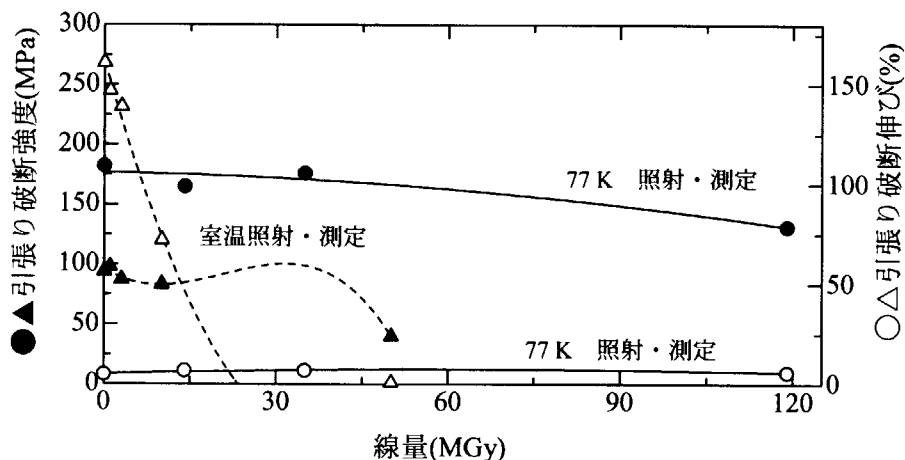
材料名	非晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI
形状	厚さ125 μ m、ダンベルに切り出し
照射条件	原子炉照射 室温及び 77K
測定	引張り試験(室温及び 77K)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	94.0 \pm 8.0	161 \pm 12.0	182 \pm 9.4	4.9 \pm 0.2
1.0	98.0 \pm 11	147 \pm 14		
3.0	87.0 \pm 6.0	139 \pm 6.5		
10.0	83.0 \pm 6.0	72 \pm 34		
14.0			165 \pm 14	6.7 \pm 0.1
35.0			176 \pm 3	6.7 \pm 0.1
50.0	40.0 \pm 3.0	0.8 \pm 0.5		
119.0			131 \pm 0.9	5.8 \pm 0.1

77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russi)

RT照射; ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)

PEEK-a ; 室温と77K における照射効果の比較

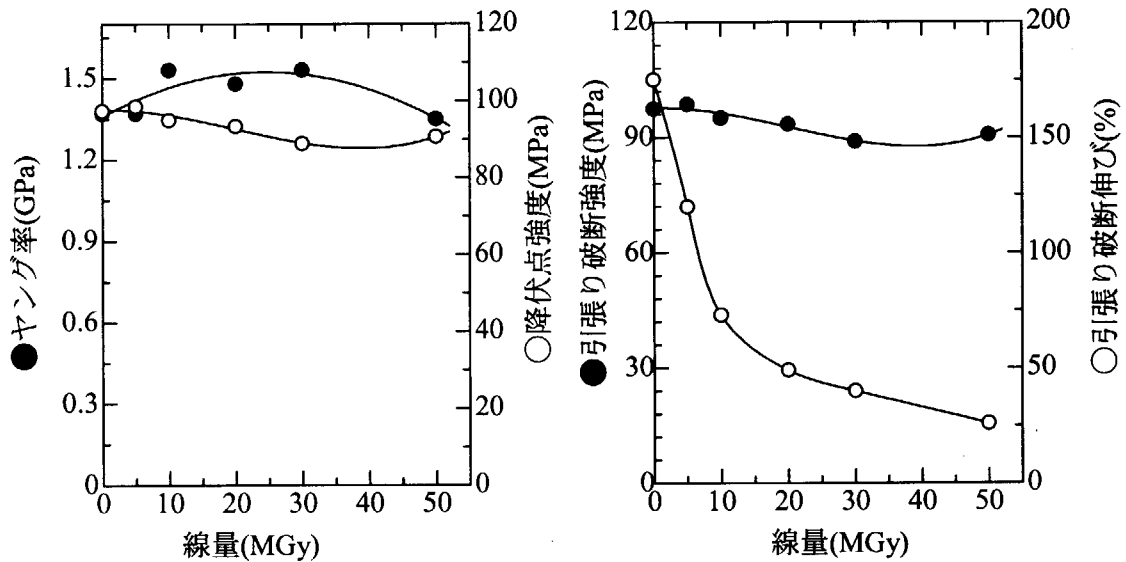


データシート No ATP-6
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	結晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学
形状	厚さ100 μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.37 ± 0.07	97.4 ± 1.7	97.0 ± 8	175 ± 33
5.0	1.37 ± 0.09	98.6 ± 1.8	91.7 ± 3.3	120 ± 22
10.0	1.53 ± 0.04	95.0 ± 0.5	84.3 ± 2.6	73 ± 33
20.0	1.48 ± 0.08	93.4 ± 1.2	85.0 ± 1.6	49 ± 8
30.0	1.53 ± 0.13	88.9 ± 5.8	83.0 ± 5.6	40 ± 7
50.0	1.35 ± 0.28	90.7 ± 4.0	84.8 ± 1.4	26 ± 4

結晶性 PEEK (PEEK-c) 電子線 空气中照射

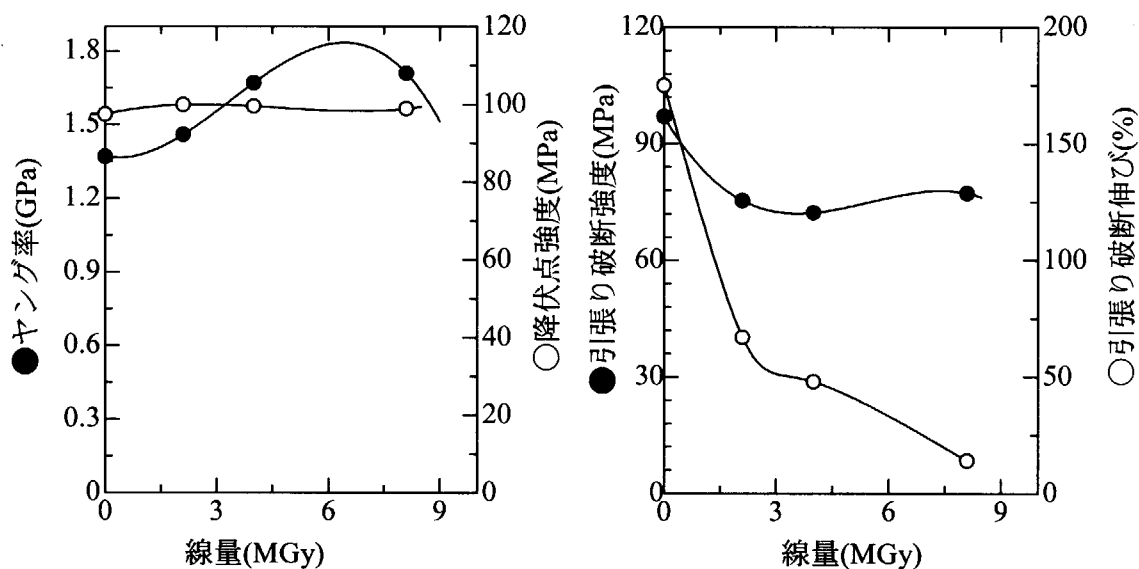


データシート No ATP-7
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	結晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.37 \pm 0.07	97.4 \pm 1.7	97.0 \pm 8	175 \pm 33
2.1	1.46 \pm 0.09	99.9 \pm 1.9	75.4 \pm 1.9	67 \pm 7
4.0	1.67 \pm 0.07	99.5 \pm 2.1	72.3 \pm 3.8	48 \pm 13
8.1	1.71 \pm 0.10	98.9 \pm 0.6	77.3 \pm 10.8	14 \pm 3

結晶性 PEEK (PEEK-c) 0.7 MPa 酸素加圧 γ 線照射



データシート No ATP-8

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)
“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	結晶性 PEEK
分子データ	Aromatic Poly(ether-ether-ke-ton)
主な用途	電線絶縁材料、フィルム、機械部品、マトリックス樹脂
製作者	ICI、三井東圧化学
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150 $^{\circ}$ C照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

PEEK-c γ 線 窒素気流中 50 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.85 \pm 0.14	94.5 \pm 1.7	141.3 \pm 8.9	288 \pm 34
1.09	1.95 \pm 0.07	90.5 \pm 0.6	133.8 \pm 7.3	252 \pm 19
3.67	2.07 \pm 0.04	93.0 \pm 1.5	123.2 \pm 7.7	223 \pm 16
7.32	2.07 \pm 0.03	88.5 \pm 1.8	115.4 \pm 7.1	183 \pm 16
12.24	2.13 \pm 0.10	99.4 \pm 10.1	105.9 \pm 6.0	152 \pm 26

PEEK-c γ 線 窒素気流中 100 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.85 \pm 0.14	94.5 \pm 1.7	141.3 \pm 8.9	288 \pm 34
4.33	1.83 \pm 0.14	102.5 \pm 2.8	105.8 \pm 11.1	211 \pm 44
7.29	1.85 \pm 0.10	102.6 \pm 4.0	82.6 \pm 17.5	139 \pm 64
12.04	1.72 \pm 0.45	104.5 \pm 1.4	77.2 \pm 2.0	36 \pm 4
13.10	2.14 \pm 0.06	99.7 \pm 3.5		38 \pm 34

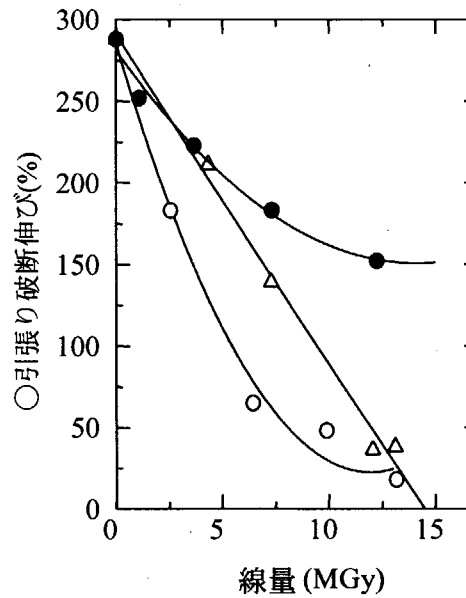
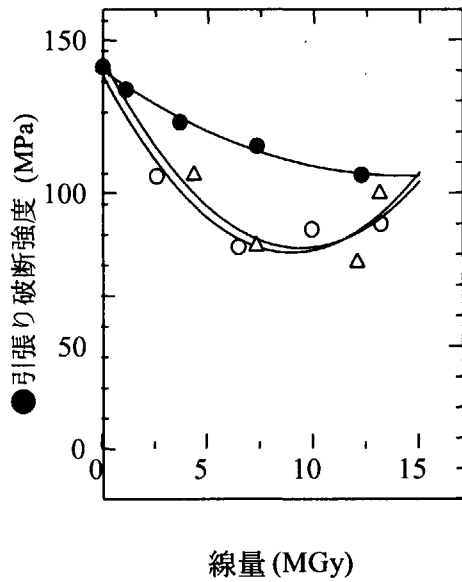
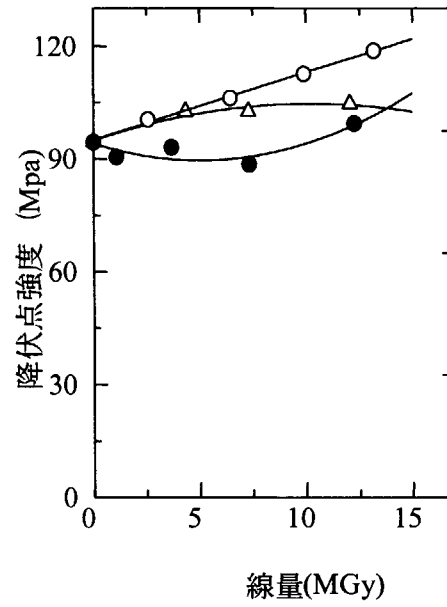
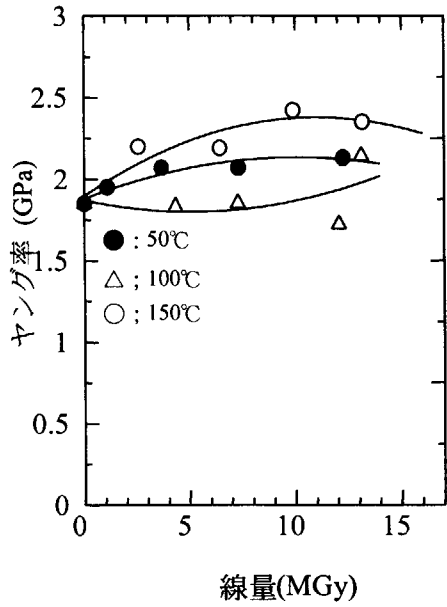
PEEK-c γ 線 窒素気流中 150 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.85 \pm 0.14	94.5 \pm 1.7	141.3 \pm 8.9	288 \pm 34
2.56	2.20 \pm 0.08	100.5 \pm 3.0	105.6 \pm 3.8	183 \pm 47
6.45	2.19 \pm 0.08	106.2 \pm 2.3	82.5 \pm 3.2	65 \pm 18
9.90	2.42 \pm 0.06	112.5 \pm 0.5	88.1 \pm 5.8	48 \pm 20
13.16	2.35 \pm 0.05	118.7 \pm 1.5	90.0 \pm 3.5	18 \pm 3

プロットは次ページ

結晶性PEEK照射温度依存性プロット

PEEK-c 50, 100, 150°C γ 線照射 \Rightarrow 室温測定



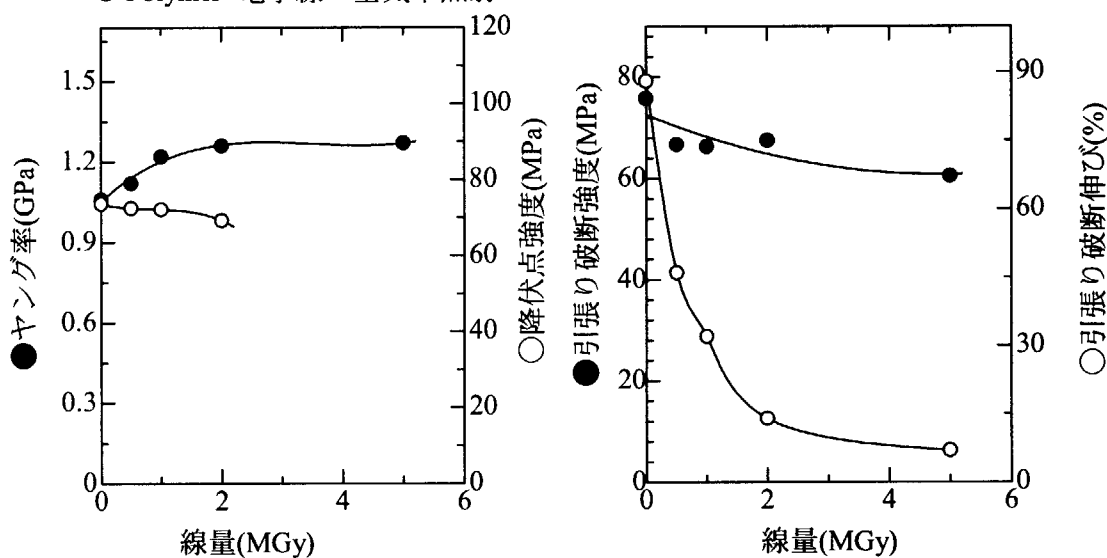
データシート No ATP-9

出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	U-Polymer
分子データ	Aromatic Polyester
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.06 \pm 0.03	73.7 \pm 1.1	75.8 \pm 2.0	88 \pm 10
0.5	1.12 \pm 0.08	72.5 \pm 0.7	66.7 \pm 1.7	46 \pm 14
1.0	1.22 \pm 0.04	72.2 \pm 0.7	66.3 \pm 1.7	32 \pm 5
2.0	1.26 \pm 0.05	69.3 \pm 2.5	67.5 \pm 1.9	14 \pm 5
5.0	1.27 \pm 0.07		60.5 \pm 13.5	7 \pm 3

U-Polymer 電子線 空气中照射

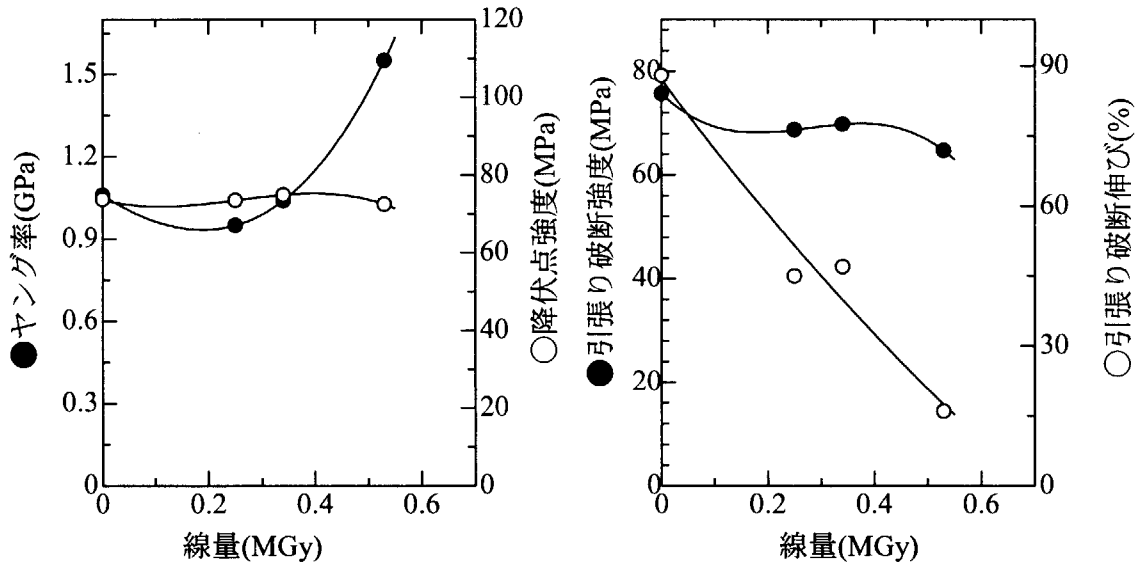


データシート No ATP-10
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	U-Polymer
分子データ	Aromatic Polyester
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.06 ± 0.03	73.7 ± 1.1	75.7 ± 1.2	88 ± 10
0.25	0.95 ± 0.04	73.5 ± 0.4	68.7 ± 1.2	45 ± 17
0.34	1.04 ± 0.03	74.9 ± 2.1	69.8 ± 2.6	47 ± 10
0.53	1.55 ± 0.35	72.5 ± 0.3	64.7 ± 1.4	16 ± 2

U-Polymer 0.7 MPa 酸素加圧 γ線照射



データシート No ATP-11

出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	U-Polymer
分子データ	Aromatic Polyester
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150 $^{\circ}$ C照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

U-Polymer γ 線 窒素気流中 50 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.22 \pm 0.12	73.7 \pm 1.1	75.7 \pm 1.2	90 \pm 7
0.13	1.22 \pm 0.04	70.0 \pm 1.6	81.5 \pm 2.5	101 \pm 6
0.40	1.33 \pm 0.04	70.8 \pm 2.2	75.7 \pm 2.1	82 \pm 4
0.83	1.27 \pm 0.07	67.1 \pm 2.6	71.8 \pm 3.7	67 \pm 9
1.49	1.32 \pm 0.05	73.6 \pm 2.0	71.8 \pm 4.6	55 \pm 8
1.96	1.28 \pm 0.03	72.1 \pm 0.8	65.6 \pm 1.2	34 \pm 9
2.73	1.41 \pm 0.10	66.0 \pm 2.1	62.4 \pm 4.3	64 \pm 9

U-Polymer γ 線 窒素気流中 100 $^{\circ}$ C照射

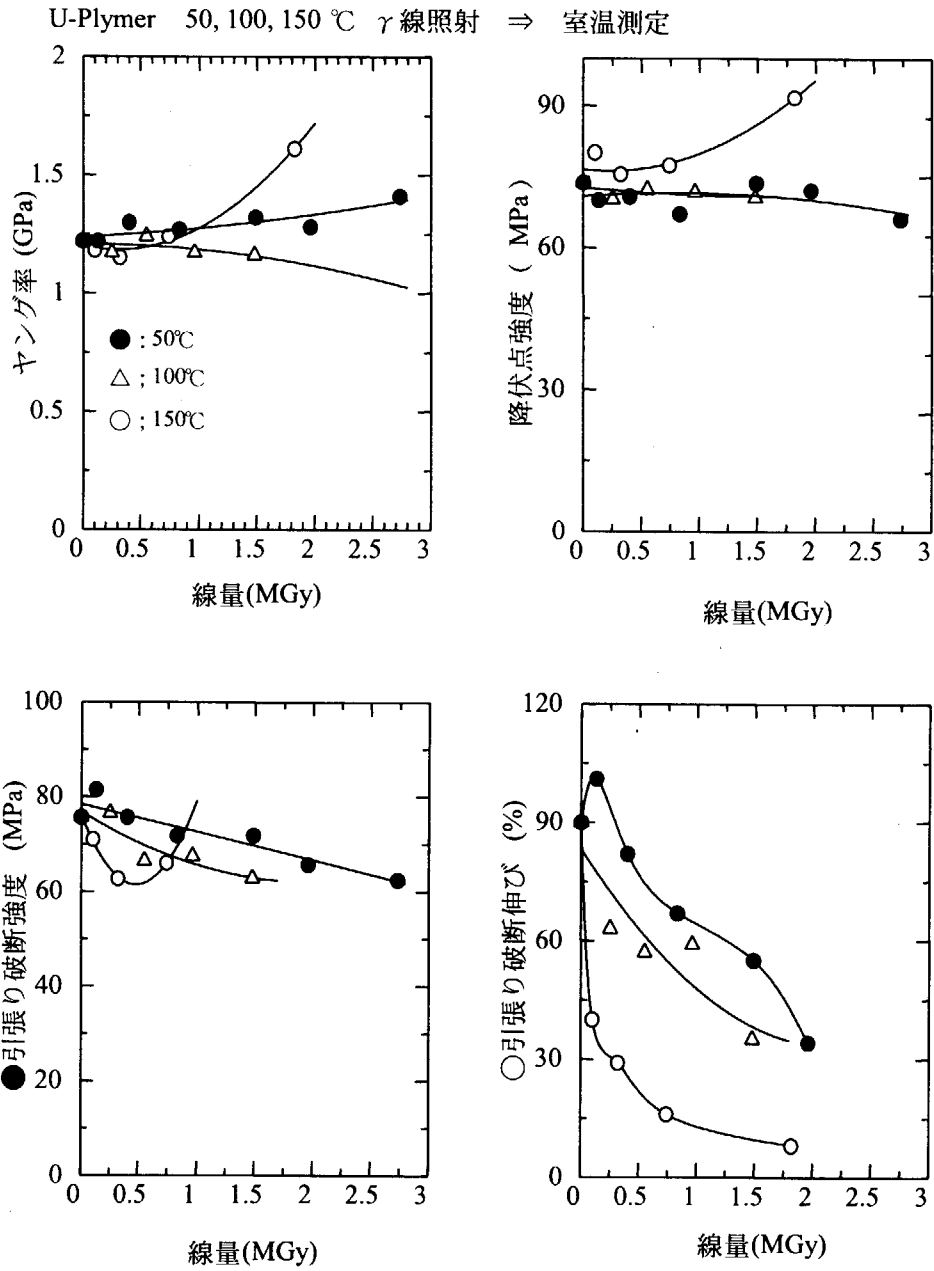
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.22 \pm 0.12	73.7 \pm 1.1	75.7 \pm 1.2	90 \pm 7
0.25	1.17 \pm 0.03	70.2 \pm 0.7	76.5 \pm 1.9	63 \pm 1
0.55	1.24 \pm 0.02	72.3 \pm 1.5	66.4 \pm 2.3	57 \pm 16
0.96	1.17 \pm 0.05	71.7 \pm 2.2	67.4 \pm 3.1	59 \pm 13
1.48	1.16 \pm 0.03	70.5 \pm 1.5	62.7 \pm 4.7	35 \pm 13

U-Polymer γ 線 窒素気流中 150 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.22 \pm 0.12	73.7 \pm 1.1	75.7 \pm 1.2	90 \pm 7
0.10	1.18 \pm 0.07	80.1 \pm 2.8	71.0 \pm 3.2	40 \pm 10
0.32	1.15 \pm 0.08	75.5 \pm 2.4	62.7 \pm 3.2	29 \pm 10
0.74	1.24 \pm 0.07	77.4 \pm 2.2	66.0 \pm 2.8	16 \pm 6
1.82	1.61 \pm 0.03	91.8 \pm 0.4		8 \pm 0.5

プロットは次ページ

U-Polymer 照射温度依存性プロット

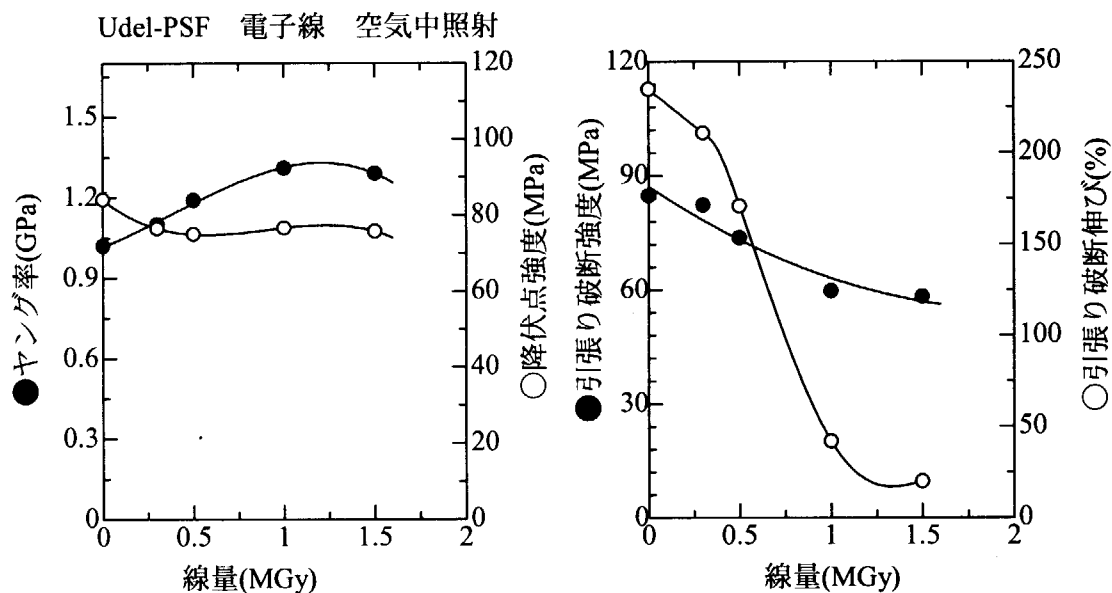


データシート No ATP-12

出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	Udel-PSF
分子データ	Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

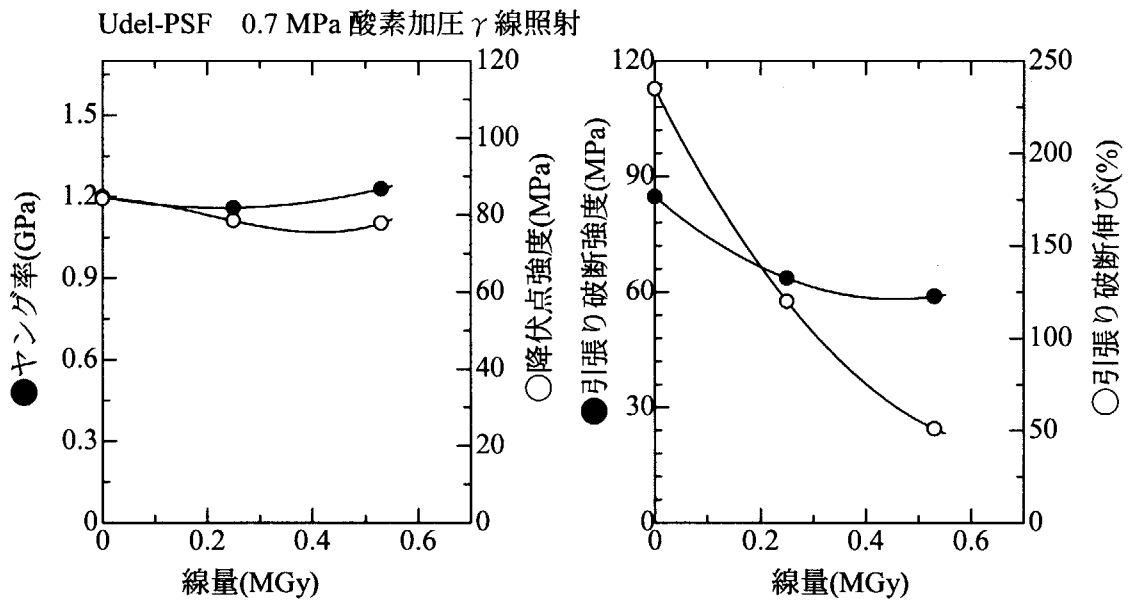
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.02 \pm 0.08	84.2 \pm 1.2	84.8 \pm 2.0	235 \pm 4
0.3	1.10 \pm 0.03	76.6 \pm 0.8	82.3 \pm 2.1	211 \pm 5
0.5	1.19 \pm 0.04	75.1 \pm 1.0	73.7 \pm 1.9	171 \pm 8
1.0	1.31 \pm 0.03	76.7 \pm 0.9	59.7 \pm 1.6	42 \pm 11
1.5	1.29 \pm 0.07	75.8 \pm 0.5	58.2 \pm 0.6	20 \pm 8



データシート No ATP-13
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	Udel-PSF
分子データ	Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量	ヤング率	降伏点強度	破断強度	破断伸び
MGy	GPa	MPa	MPa	%
0.00	1.20 \pm 0.07	84.2 \pm 1.2	84.8 \pm 1.9	235 \pm 4
0.25	1.16 \pm 0.05	78.5 \pm 3.6	63.6 \pm 0.9	120 \pm 36
0.53	1.23 \pm 0.04	77.9 \pm 0.5	58.9 \pm 2.1	51 \pm 30



データシート No ATP-14

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)
“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	Udel-PSF
分子データ	Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5.7kGy/h 窒素気流中 50, 100, 150 $^{\circ}$ C照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

Udel-PSF γ 線 窒素気流中 50 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.52 \pm 0.05	84.2 \pm 1.2	84.8 \pm 1.9	235 \pm 4.0
0.13	1.46 \pm 0.02	80.0 \pm 0.6	91.1 \pm 4.5	244 \pm 17
0.40	1.47 \pm 0.03	76.3 \pm 1.4	80.8 \pm 3.2	211 \pm 13
0.83	1.57 \pm 0.06	74.4 \pm 1.1	78.4 \pm 2.5	186 \pm 11
0.99	1.56 \pm 0.02	74.2 \pm 1.4	76.3 \pm 1.4	194 \pm 11
1.50	1.56 \pm 0.05	73.7 \pm 1.3	65.6 \pm 2.5	131 \pm 19
2.73	1.57 \pm 0.04	68.8 \pm 1.1	50.9 \pm 2.8	38 \pm 16

Udel-PSF γ 線 窒素気流中 100 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.52 \pm 0.05	84.2 \pm 1.2	84.8 \pm 1.9	235 \pm 4.0
0.25	1.43 \pm 0.04	75.2 \pm 1.5	78.7 \pm 4.9	201 \pm 16
0.55	1.52 \pm 0.05	79.8 \pm 2.0	72.9 \pm 4.7	151 \pm 18
0.96	1.50 \pm 0.02	80.2 \pm 1.5	61.8 \pm 6.7	80 \pm 60
1.48	1.42 \pm 0.07	78.6 \pm 2.8	58.4 \pm 9.5	21 \pm 12

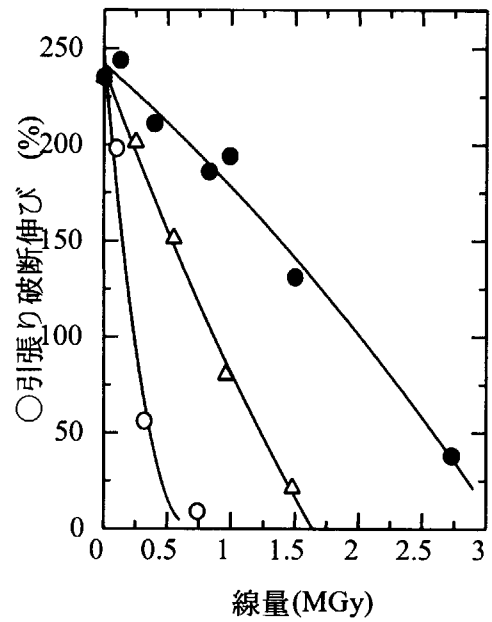
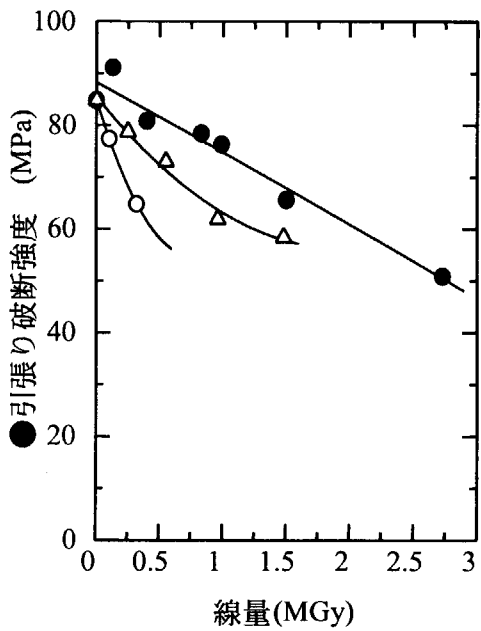
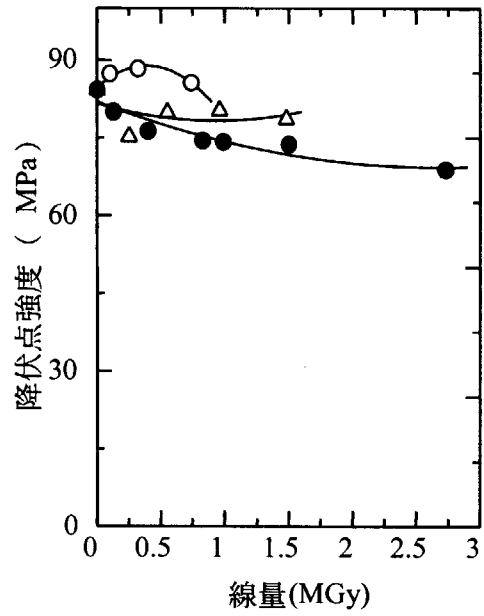
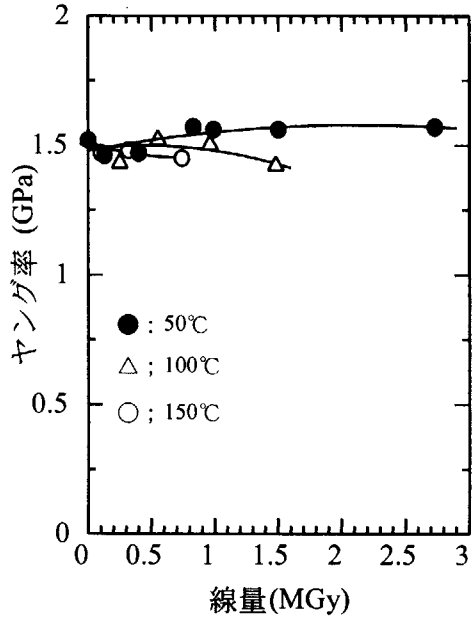
Udel-PSF γ 線 窒素気流中 150 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.52 \pm 0.05	84.2 \pm 1.2	84.8 \pm 1.9	235 \pm 4.0
0.10	1.47 \pm 0.03	87.3 \pm 0.9	77.4 \pm 6.4	198 \pm 31
0.32	1.48 \pm 0.03	88.3 \pm 0.9	64.8 \pm 4.7	56 \pm 20
0.74	1.45 \pm 0.03	85.6 \pm 4.0		9 \pm 1

プロットは次ページ

Udel-PSF 照射温度依存性プロット

Udel PSF 50, 100, 150 °C γ 線照射 \rightarrow 室温測定



データシート No ATP-15

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

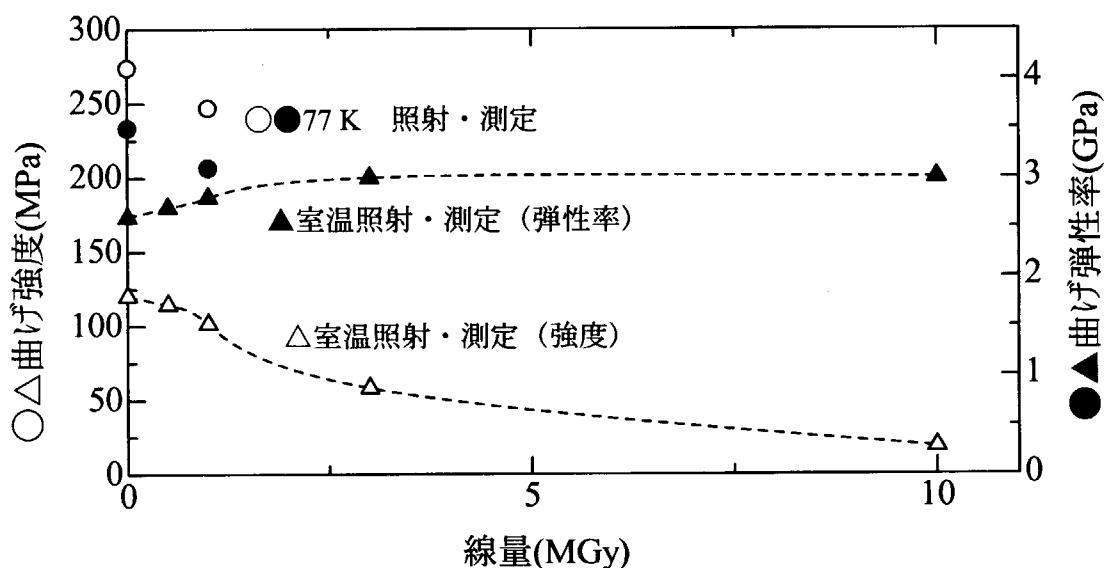
材料名	Udel- PSF(based on Udel P3500)
分子データ	Bis-phenole-A type Aromatic polysulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	Era-Epec
形状	厚さ100 μm、ダンベルに切り出し
照射条件	原子炉照射 室温及び77K
測定	3点曲げ試験(室温及び77K)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	120.2±0.8	>15	2.6±0.1	274±10	10.1±0.8	3.5±0.0
0.5	114.4±0.3	>15	2.7±0.1			
1.0	101.6±11.4	9.6±6.7	2.8±0.1	247±8	9.7±0.6	3.1±0.1
3.0	58.2±2.5	2.1±0.1	3.0±0.0			
10.0	18.8±2.6	0.71±0.1	3.0±0.1			

77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russi)

RT照射; ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)

UPS ; 室温と77K における照射効果の比較

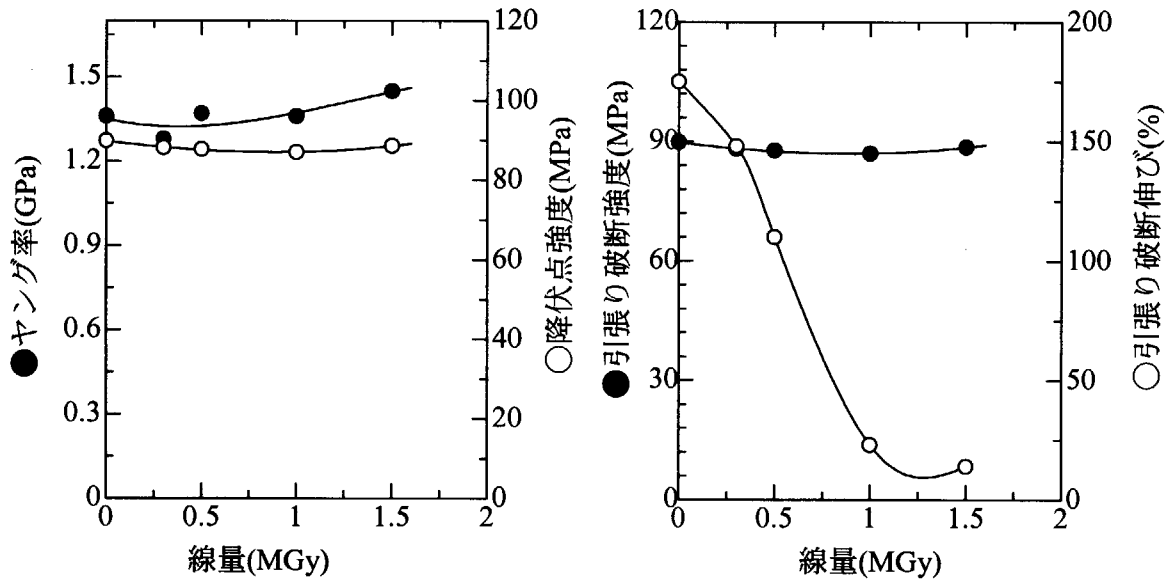


データシート No ATP-16
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	PES
分子データ	Aromatic Poly-ethersulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ICI、三井東圧化学
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.36 \pm 0.08	89.8 \pm 1.3	81.6 \pm 6.9	175 \pm 5
0.3	1.28 \pm 0.06	88.1 \pm 1.0	80.3 \pm 5.9	148 \pm 29
0.5	1.37 \pm 0.09	87.7 \pm 1.6	75.2 \pm 3.9	110 \pm 26
1.0	1.36 \pm 0.11	87.0 \pm 0.6	73.6 \pm 9.3	23 \pm 11
1.5	1.45 \pm 0.07	88.6 \pm 2.0	68.4 \pm 4.6	14 \pm 4

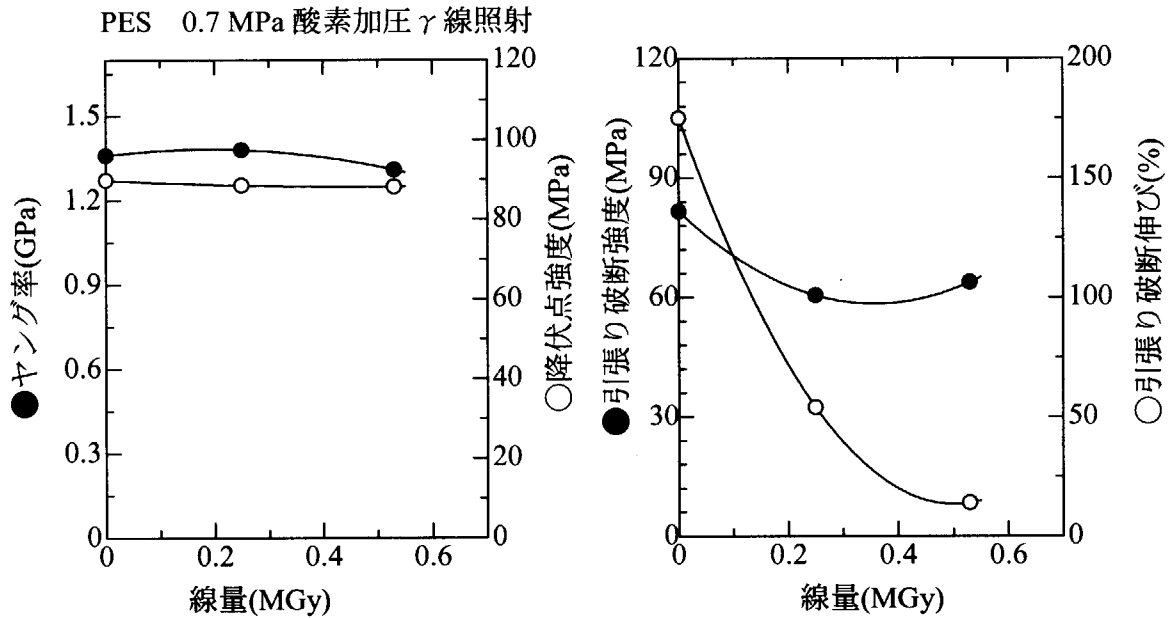
PES 電子線 空气中照射



データシート No ATP-17
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	PES
分子データ	Aromatic Poly-ethersulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.36 \pm 0.08	89.8 \pm 1.3	81.6 \pm 6.9	175 \pm 5
0.25	1.38 \pm 0.13	88.5 \pm 10	60.5 \pm 0.6	54 \pm 13
0.53	1.31 \pm 0.09	88.2 \pm 2.7	63.8 \pm 0.8	14 \pm 3



データシート No ATP-18

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	PES
分子データ	Aromatic Poly-ethersulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ICI、三井東圧化学
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 窒素気流中 50, 100, 150, 200 $^{\circ}$ C照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

PES γ 線 窒素気流中 50 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.54 \pm 0.06	89.8 \pm 1.3	81.6 \pm 6.9	189 \pm 8
0.13	1.59 \pm 0.07	87.1 \pm 1.0	87.8 \pm 3.6	193 \pm 17
0.40	1.66 \pm 0.06	86.3 \pm 2.2	81.8 \pm 4.5	156 \pm 16
0.83	1.65 \pm 0.06	81.8 \pm 1.6	72.0 \pm 5.4	136 \pm 27
0.99	1.61 \pm 0.06	81.5 \pm 1.0	64.2 \pm 2.2	98 \pm 20
1.50	1.66 \pm 0.05	86.6 \pm 1.3	65.2 \pm 1.5	34 \pm 3
1.96		90.9 \pm 0.6	64.8 \pm 3.4	11 \pm 3

PES γ 線 窒素気流中 100 $^{\circ}$ C照射

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.54 \pm 0.06	89.8 \pm 1.3	81.6 \pm 6.9	189 \pm 8
0.25	1.52 \pm 0.04	82.4 \pm 1.3	72.5 \pm 5.3	148 \pm 21
0.55	1.38 \pm 0.04	87.6 \pm 0.9	63.9 \pm 7.1	72 \pm 29
0.96	1.54 \pm 0.04	85.1 \pm 2.6	60.4 \pm 3.7	45 \pm 18
1.48	1.50 \pm 0.04	85.0 \pm 2.5	60.6 \pm 2.3	21 \pm 10

PES γ 線 窒素気流中 150 $^{\circ}$ C照射

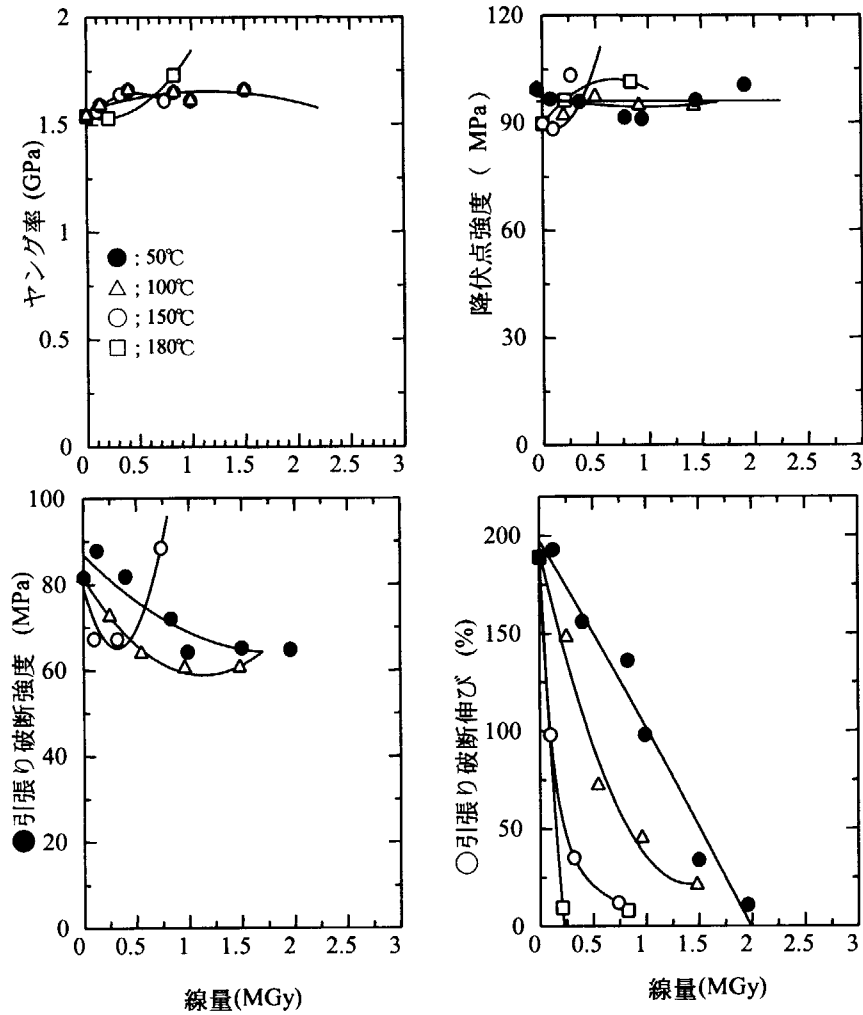
線量 MGy	ヤング率 Gpa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.54 \pm 0.06	89.8 \pm 1.3	81.6 \pm 6.9	189 \pm 8
0.10	1.56 \pm 0.08	88.4 \pm 5.1	67.3 \pm 0.4	98 \pm 13
0.32	1.64 \pm 0.05	93.6 \pm 2.4	67.2 \pm 3.1	35 \pm 17
0.74	1.61 \pm 0.04	88.4 \pm 1.9		12 \pm 5

次ページに続く

PES γ 線 窒素気流中 180°C照射				
線量 MGy	ヤング率 MPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.54 ± 0.06	89.8 ± 1.3		189 ± 8
0.21	1.53 ± 0.10	96.3 ± 2.9		9.4 ± 0
0.83	1.73 ± 0.02	101.5 ± 4.2		8 ± 1

PES 照射温度依存性プロット

PES 50, 100, 150 180 °C γ 線照射 ⇒ 室温測定

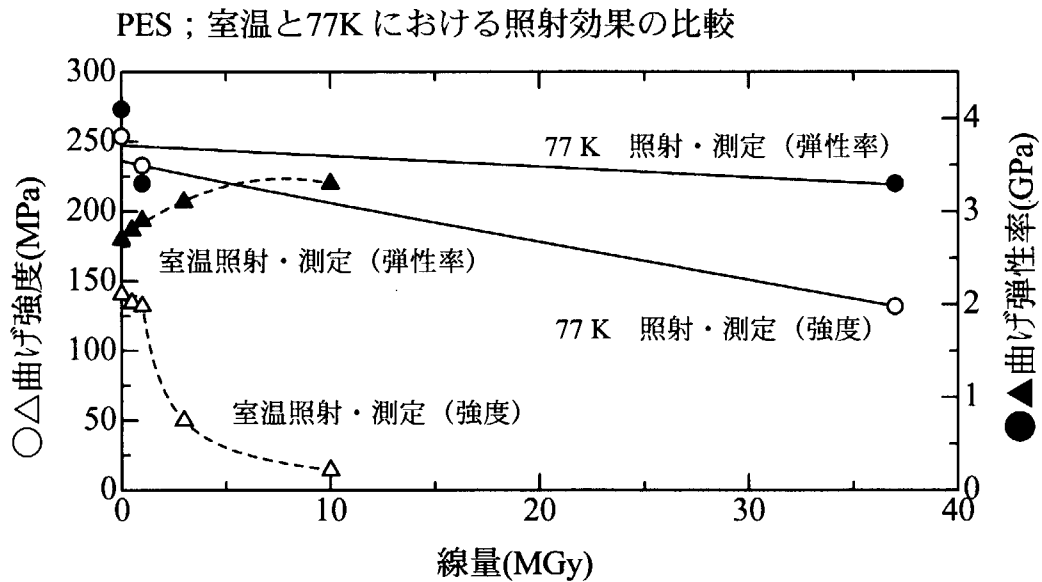


データシート No ATP-19

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	PES (based on VICTREX)
分子データ	Aromatic Poly-ethersulfone
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	Era-Epec
形状	厚さ100 μ m、ダンベルに切り出し
照射条件	原子炉照射 室温及び77K
測定	3点曲げ試験(室温及び77K)

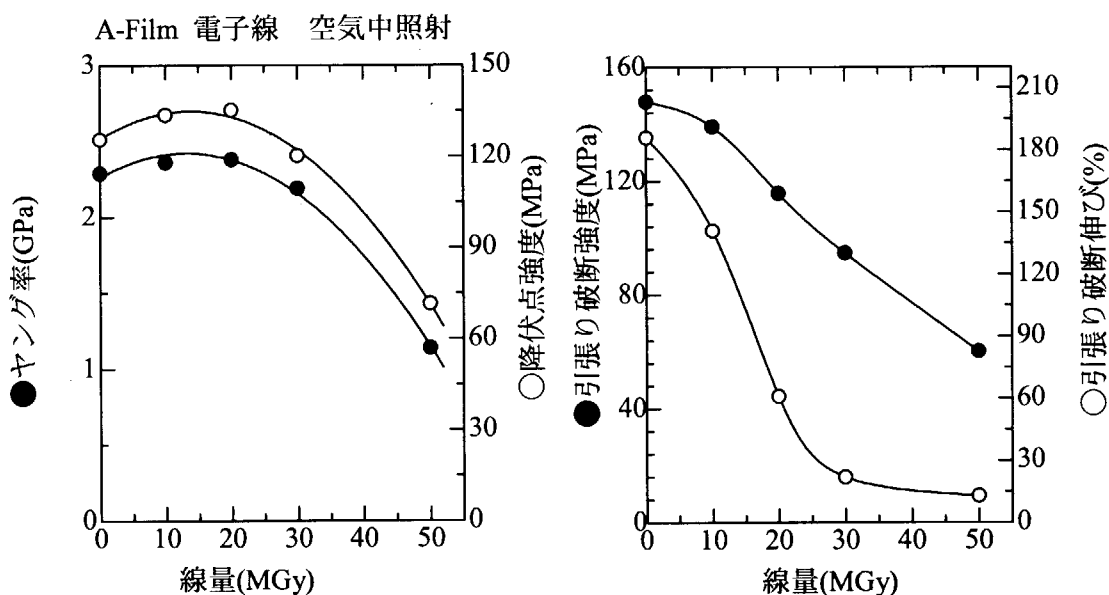
線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	140.7 \pm 1.4	>15	2.7 \pm 0.1	254 \pm 14	7.2 \pm 0.5	4.1 \pm 0.1
0.5	134.4 \pm 0.8	>15	2.8 \pm 0.1			
1.0	132.0 \pm 5.5	11.6 \pm 4.6	2.9 \pm 0.1	233 \pm 3	7.6 \pm 0.1	3.3 \pm 0.2
3.0	49.9 \pm 3.4	1.7 \pm 0.1	3.1 \pm 0.1			
10.0	14.3 \pm 6.4	0.5 \pm 0.2	3.3 \pm 0.3			
37.0				132 \pm 18	3.6 \pm 0.4	3.3 \pm 0.1



データシート No ATP-20
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	A-Film
分子データ	Aromatic Polyamide
主な用途	絶縁材料、フィルム
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

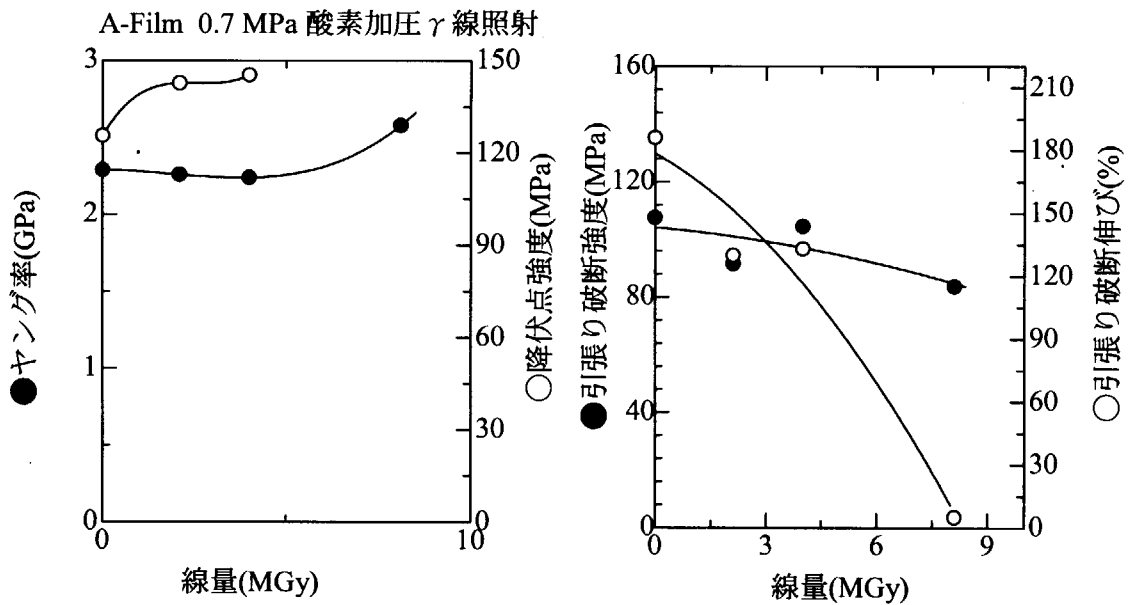
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	2.29 \pm 0.06	125.6 \pm 1.1	147.9 \pm 1.2	186 \pm 7
10.0	2.36 \pm 0.18	133.7 \pm 2.1	139.1 \pm 17.7	141 \pm 50
20.0	2.38 \pm 0.12	135.3 \pm 2.3	115.7 \pm 12.2	61 \pm 37
30.0	2.19 \pm 0.09	120.3 \pm 1.1	94.7 \pm 1.1	22 \pm 6
50.0	1.14 \pm 0.09	71.6 \pm 1.4	60.2 \pm 6.1	13 \pm 3



データシート No ATP-21
 出典; Polymer, 28, 1915 (1987)

材料名	A-Film
分子データ	Aromatic Polyamide
主な用途	絶縁材料、フィルム
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線 5kGy/h 0.7 MPa 酸素中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

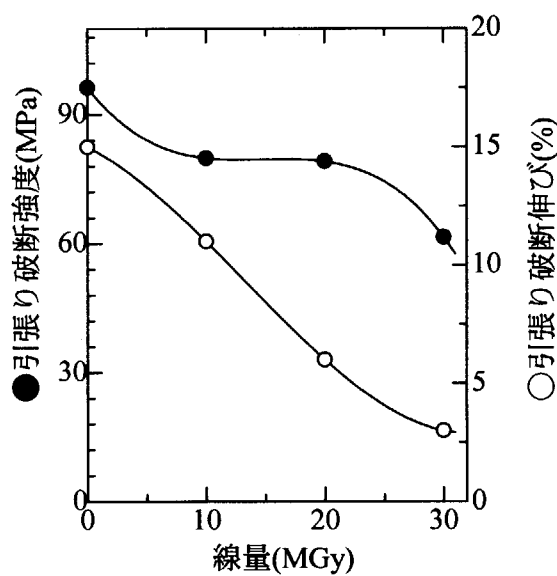
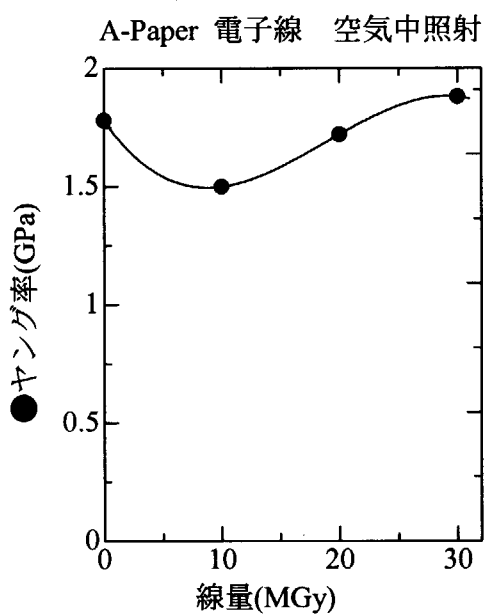
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	2.29 \pm 0.06	125.6 \pm 10.8	147.9 \pm 1.2	186 \pm 7
2.1	2.26 \pm 0.15	142.7 \pm 2.4	125.9 \pm 18.6	130 \pm 25
4.0	2.24 \pm 0.14	145.4 \pm 2.5	143.7 \pm 2.5	133 \pm 32
8.1	2.58 \pm 0.10		115.1 \pm 5.3	5 \pm 0



データシート No ATP-22
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	A-Paper
分子データ	Aromatic Polyamide
主な用途	電気絶縁不織布
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5×10^3 Gy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

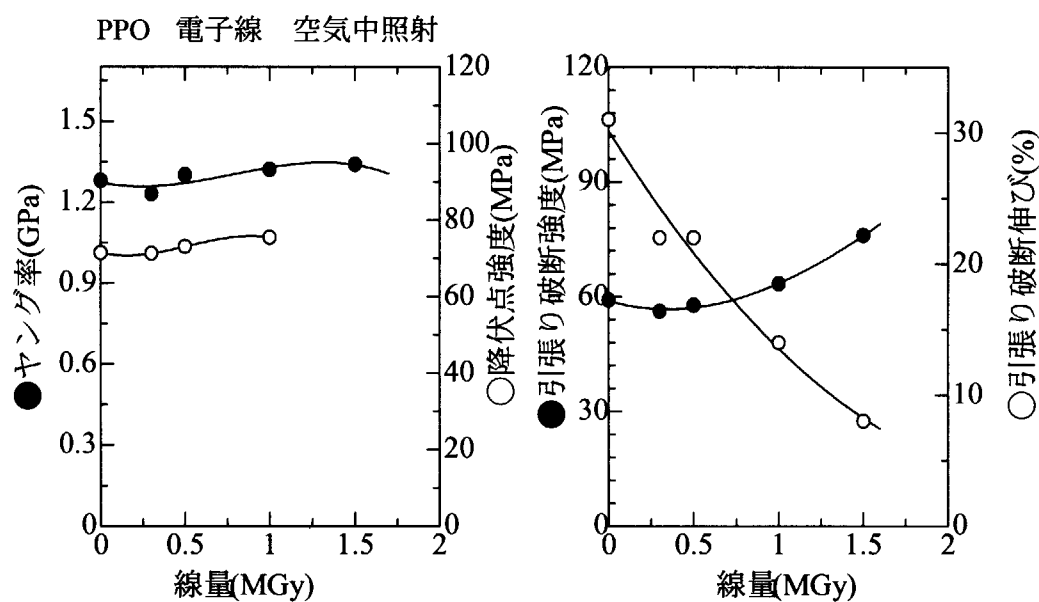
線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.78 \pm 0.17	96.3 \pm 7.1	15 \pm 2
10.0	1.50 \pm 0.14	79.9 \pm 4.8	11 \pm 3
20.0	1.72 \pm 0.09	79.1 \pm 1.3	6 \pm 1
30.0	1.88 \pm 0.18	61.5 \pm 7.1	3 \pm 1



データシート No ATP-23
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	NOLYL
分子データ	Modified PPO(Polyphenylene Oxide)
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	ユニチカ
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

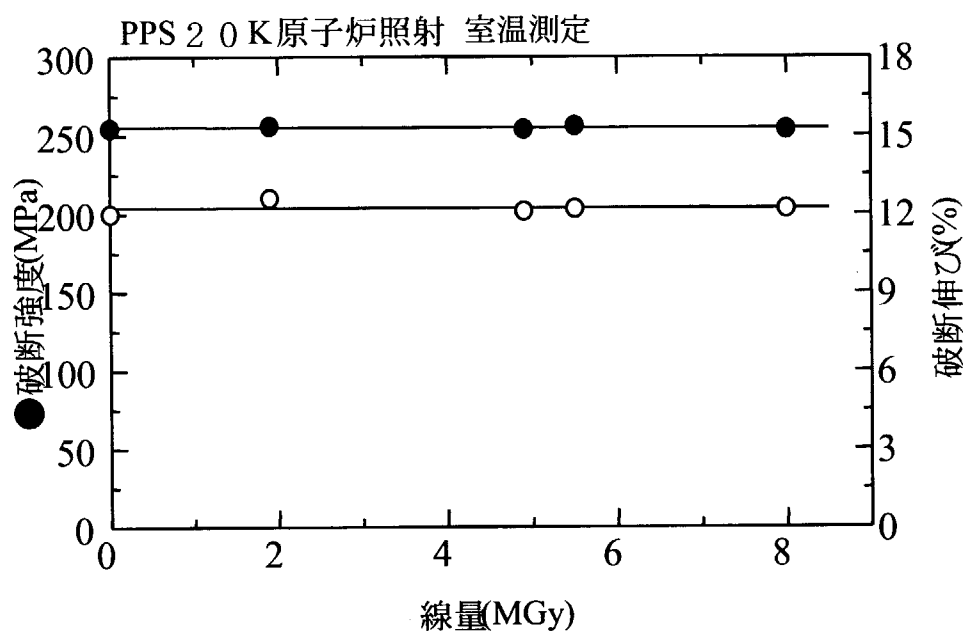
線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.28 \pm 0.08	71.5 \pm 3.7	59.1 \pm 2.9	31 \pm 10
0.3	1.23 \pm 0.04	71.3 \pm 2.4	56.2 \pm 1.9	22 \pm 2
0.5	1.30 \pm 0.07	73.1 \pm 2.0	57.8 \pm 1.9	22 \pm 4
1.0	1.32 \pm 0.07	75.5 \pm 4.3	63.4 \pm 4.8	14 \pm 2
1.5	1.34 \pm 0.02		76.1 \pm 9.2	8 \pm 1



データシート No ATP-24
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	PPS
分子データ	Polyphenylene sulfide
主な用途	絶縁材料、フィルム、機械部品
製作者	三菱化成工業(株)
形状	厚さ50 μ m
照射条件	京大原子炉 γ 線; 1.2×10^5 Gy/h、高速中性子; 2.5×10^{15} n/m ² /s、熱中性子; 2.3×10^{16} n/m ² /s、1Gy = 1×10^{15} n/m ² で換算 20K照射
測定	引張り試験(室温、引張り速度;不明)

線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	254.5	12
1.9	256.1	12.6
4.9	254.1	12.1
5.5	256.1	12.2
8.0	253.7	12.2



4. 芳香族ポリイミド

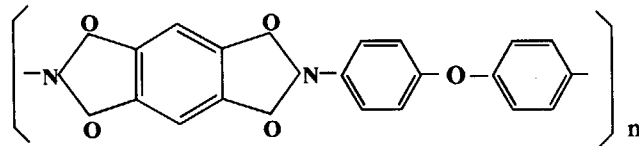
5員環イミドを分子構造中に有するポリイミド樹脂は、Du Pont 社がポリピロロイミドとして初めて実用化し、1965年にフィルム“Kapton”、成形材料“VespeI”として商品化された。以来、種々のジアミンと二塩基酸無水物の組み合わせにより耐熱性、機械的特性の優れたポリイミドが開発され、耐熱性の高性能フィルム、成型品やワニスとして使用されている。

Kapton が実使用されると同時にその耐放射線性が調べられ、極めて高い耐放射線性があることが知られるようになり、高耐放射線性材料の代名詞にもなっている。

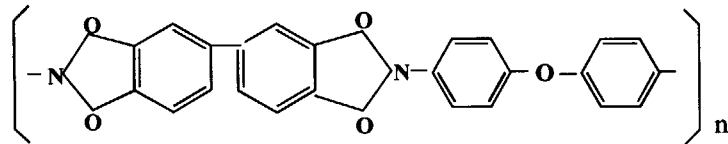
ポリピロロイミドは熱硬化性樹脂であるが、分子内にビスフェノール構造を導入するなどして射出成形ができる熱可塑性ポリイミドも実用化され、繊維強化材料のマトリックス樹脂にも使用可能になっている。

ここでは、放射線酸化反応が起こらない(起きても極薄い表面のみ)非酸化系照射と試料内部まで放射線酸化反応が起こる酸化系照射の結果、高温・極低温照射効果、高温特性に及ぼす放射線照射効果のデータをまとめた。

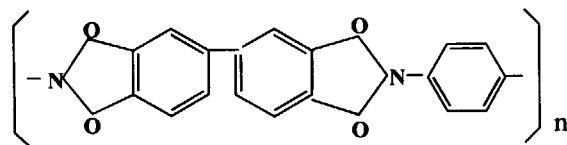
芳香族ポリイミドの分子構造



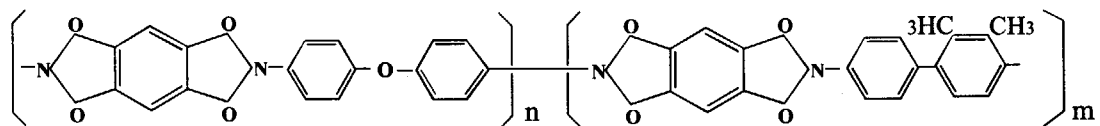
Kapton



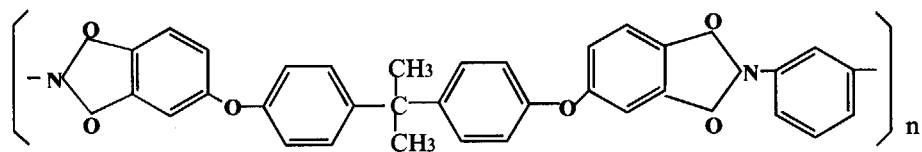
Upilex-R



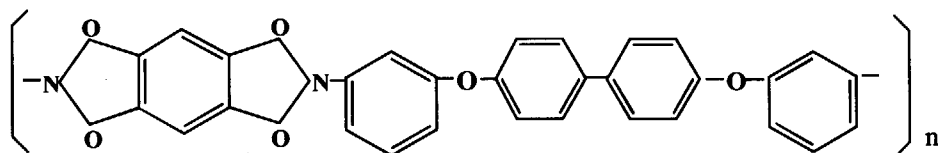
Upilex-S



Novax $m/n=50/50, 70/30, 80/20$



Ultem



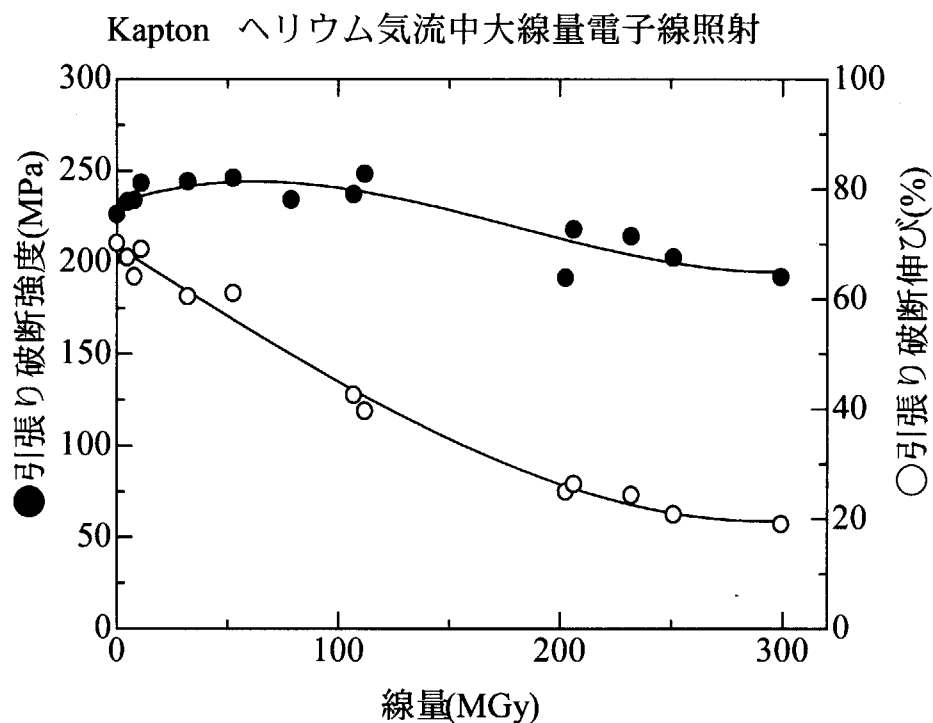
Aurum

データシート No IM-1

出典; 武蔵工業大学大学院 修士論文(1995)

“核融合炉用絶縁材料の耐放射線性に関する研究“

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μm 、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 6.1~6.7 kGy/s、ヘリウムガス気流中
測定	引張り試験(25, 100, 180 $^{\circ}\text{C}$ 、引張り速度; 200mm/min)

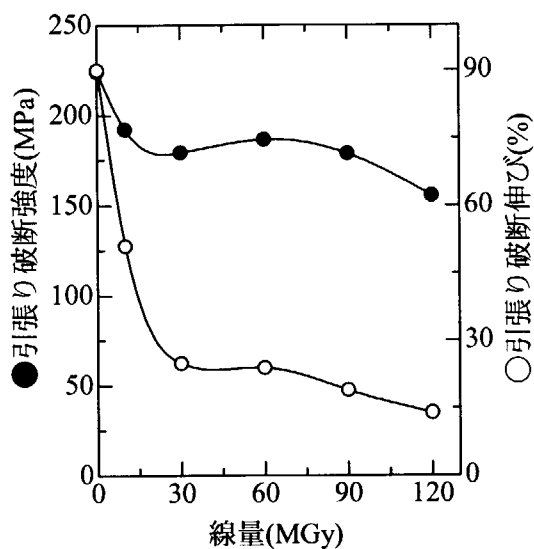
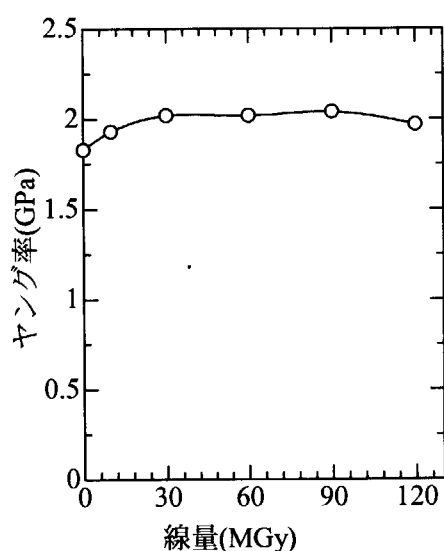


データシート No IM-2
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.83 \pm 0.071	224.2 \pm 9.9	90 \pm 10
10.00	1.93 \pm 0.037	192.2 \pm 3.4	51 \pm 3
30.00	2.02 \pm 0.060	179.4 \pm 3.9	25 \pm 2
60.00	2.02 \pm 0.057	186.7 \pm 2.4	24 \pm 1
90.00	2.04 \pm 0.164	178.8 \pm 10.4	19 \pm 3
120.00	1.97 \pm 0.057	155.5 \pm 14.2	14 \pm 4

Kapton-500H 非酸化系照射

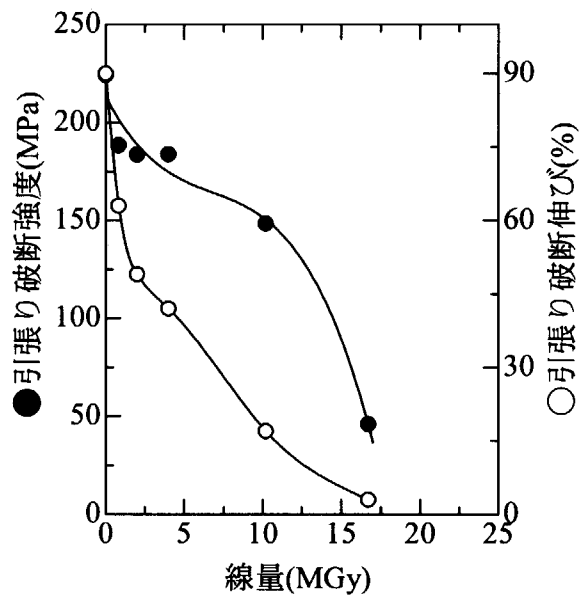
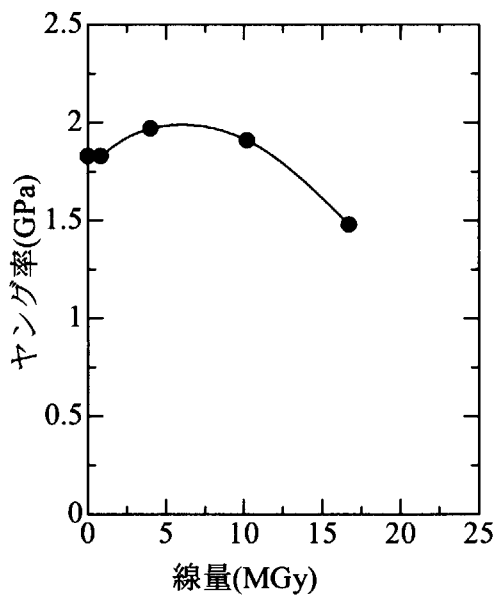


データシート No IM-3
 出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	電線絶縁材料、フィルム
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.83 \pm 0.071	224.2 \pm 9.9	90 \pm 10
0.83	1.83 \pm 0.04	188.4 \pm 5.0	63 \pm 10
2.00	1.87 \pm 0.05	183.6 \pm 12.0	49 \pm 5
4.00	1.97 \pm 0.10	183.8 \pm 8.9	42 \pm 4
10.20	1.91 \pm 0.17	148.4 \pm 4.1	17 \pm 2
16.70	1.48 \pm 0.12	46.1 \pm 5.1	3 \pm 0.1

Kapton-500H 酸化系照射

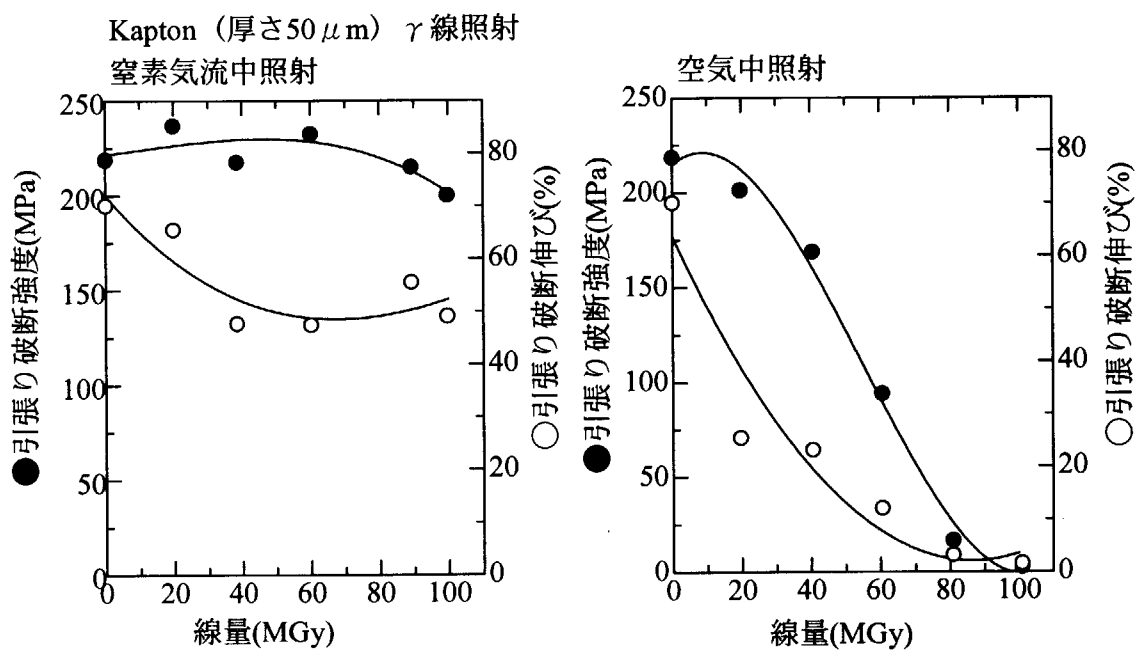


データシート No IM-4

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-129 (1988)

“ポリイミドの大量 γ 線照射”

材料名	ポリイミド Kapton
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ 50 μ m、巾10mm×チャック間50mm 短冊状
照射条件1	γ 線、線量率; 17 kGy/h、窒素気流中 γ 線、線量率; 17 kGy/h、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 50 mm/min)



データシート No IM-5

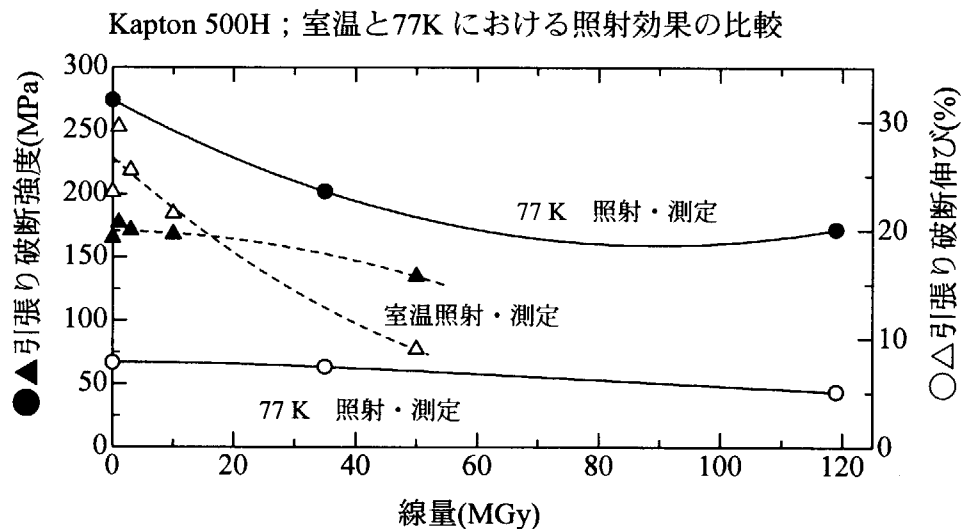
出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μm
照射条件	原子炉照射、室温及び 77k
測定	引張り試験(室温; 50 mm/min、77k; 3mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定		77 K 照射及び測定	
	破断強度 MPa	破断伸び %	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	165.0 ± 13.0	23.5 ± 11.0	274 ± 9	7.8 ± 0.1
1.00	177.0 ± 5.0	29.5 ± 4.1		
3.00	171.0 ± 2.0	25.5 ± 4.5		
10.00	168.0 ± 2.0	21.5 ± 3.4		
35.00			202 ± 14	7.4 ± 0.3
50.00	135.0 ± 6.0	9.0 ± 1.7		
119.00			172 ± 1.8	5.1 ± 0.1

77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russi)

RT照射; ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)



データシート No IM-6

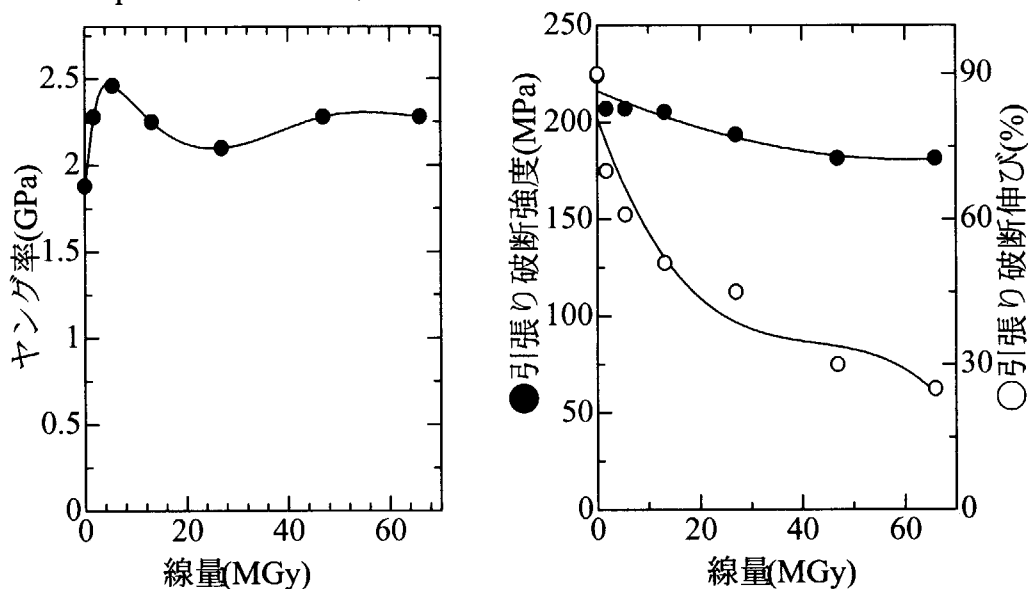
出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率 7.5 kGy/h 180 $^{\circ}$ C 窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.88 \pm 0.07	224.2 \pm 9.9	90 \pm 10
1.75	2.28 \pm 0.05	207.1 \pm 18.4	70 \pm 1
5.44	2.46 \pm 0.12	207.1 \pm 4.5	61 \pm 4
13.11	2.25 \pm 0.06	205.4 \pm 1.5	51 \pm 4
26.99	2.10 \pm 0.02	193.7 \pm 2.0	45 \pm 2
46.91	2.28 \pm 0.10	181.5 \pm 2.0	30 \pm 2
65.94	2.28 \pm 0.07	181.4 \pm 5.6	25 \pm 2

Kapton-500H 180 $^{\circ}$ C不活性ガス気流中照射 \Rightarrow 室温測定



データシート No IM-7

出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド Kapton 500H
分子データ	Pyromellitimide type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	Du Pont
形状	厚さ125 μ m、ASTEM 1822 ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(25, 100, 180 °C、引張り速度; 200mm/min)

25°C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	2.20 \pm 0.13	225.6 \pm 8.7	94 \pm 9
10	2.12 \pm 0.15	215.5 \pm 9.0	81 \pm 8
30	2.26 \pm 0.27	215.6 \pm 6.2	62 \pm 2
60	2.32 \pm 0.06	202.7 \pm 4.0	41 \pm 3
90	2.34 \pm 0.07	187.3 \pm 3.4	24 \pm 2
120	2.41 \pm 0.13	181.1 \pm 4.7	21 \pm 2

100°C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	1.13 \pm 0.20	197.7 \pm 13.6	92 \pm 19
10	1.08 \pm 0.26	192.1 \pm 10.3	79 \pm 12
30	1.57 \pm 0.21	178.2 \pm 11.0	55 \pm 8
60	1.28 \pm 0.18	179.7 \pm 3.0	43 \pm 4
90	1.61 \pm 0.16	172.2 \pm 1.9	30 \pm 2
120	1.49 \pm 0.23	163.5 \pm 4.6	24 \pm 2

180°C測定

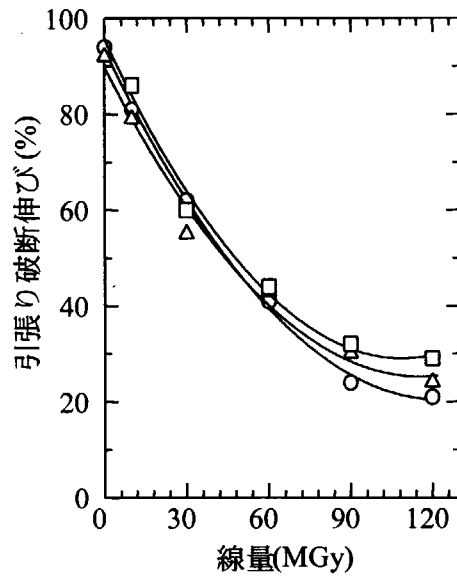
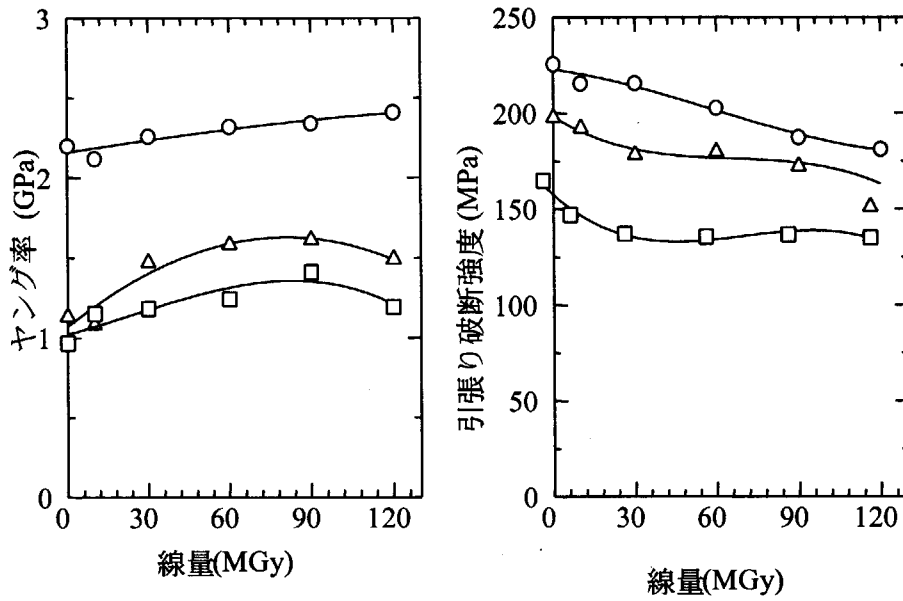
線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	0.965 \pm 0.19	177.4 \pm 11.7	112 \pm 17
10	1.15 \pm 0.10	159.5 \pm 17.3	86 \pm 26
30	1.18 \pm 0.08	149.7 \pm 9.5	60 \pm 12
60	1.24 \pm 0.09	148.1 \pm 5.9	44 \pm 6
90	1.41 \pm 0.22	149.2 \pm 1.2	32 \pm 3
120	1.19 \pm 0.16	147.6 \pm 3.6	29 \pm 2

プロットは次ページ

照射 Kapton の高温特性変化のプロット

電子線照射したKaptonの高温特性変化

○ ; 25°C測定 △ ; 100°C測定 □ ; 180°C測定



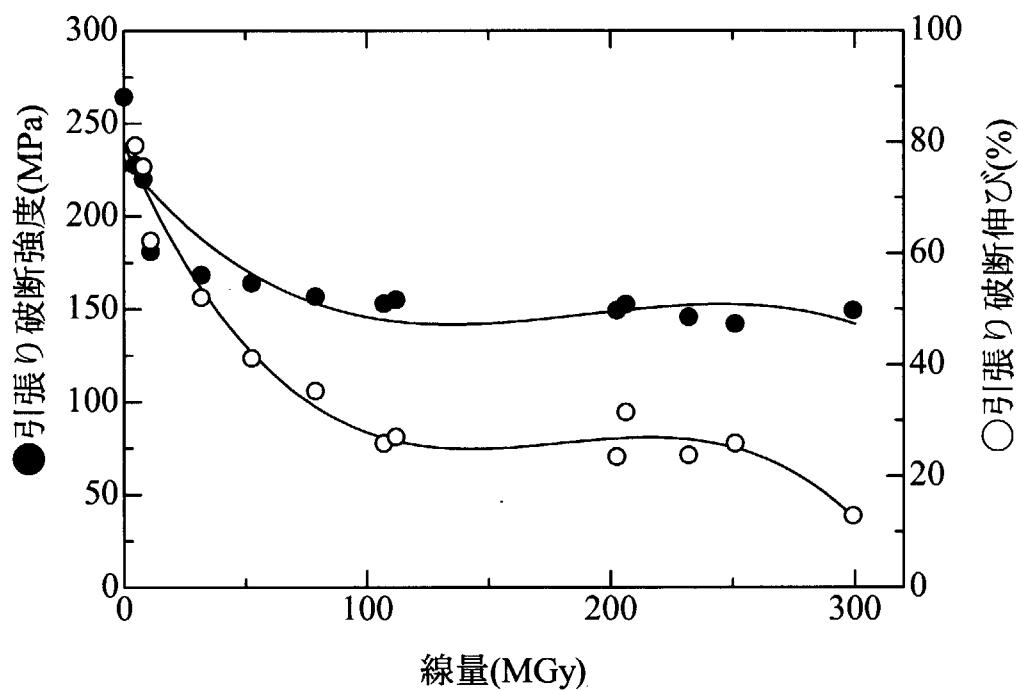
データシート No IM-8

出典：武蔵工業大学大学院 修士論文(1995)

“核融合炉用絶縁材料の耐放射線性に関する研究”

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率；6.1~6.7 kGy/s、ヘリウムガス気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度；200mm/min)

UPILEX-R 窒素気流中大線量電子線照射



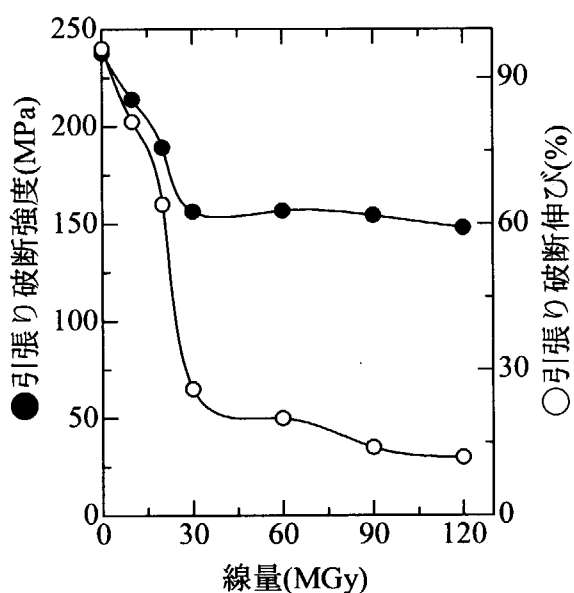
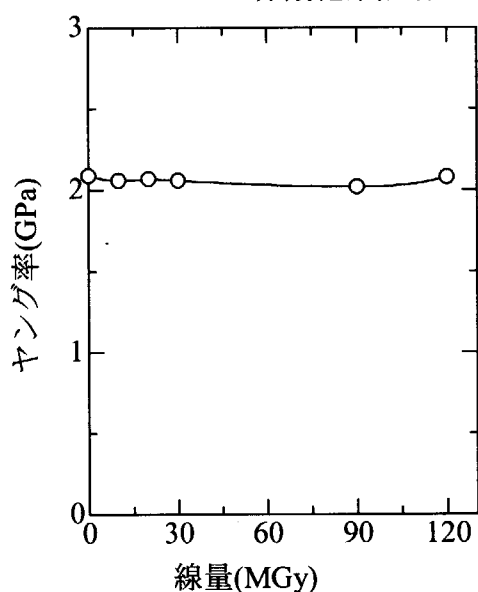
データシート No IM-9

出典; Polymer, 26, 1039 (1995)

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.09 \pm 0.040	237.8 \pm 12.4	96 \pm 7
10.00	2.06 \pm 0.076	213.9 \pm 6.2	81 \pm 4
20.00	2.07 \pm 0.055	189.2 \pm 4.3	64 \pm 3
30.00	2.06 \pm 0.091	156.3 \pm 3.3	26 \pm 8
60.00	2.05 \pm 0.116	156.7 \pm 2.1	20 \pm 2
90.00	2.02 \pm 0.100	154.3 \pm 1.7	14 \pm 1
120.00	2.08 \pm 0.164	148.0 \pm 1.4	12 \pm 2

UPILEX-R 非酸化系照射

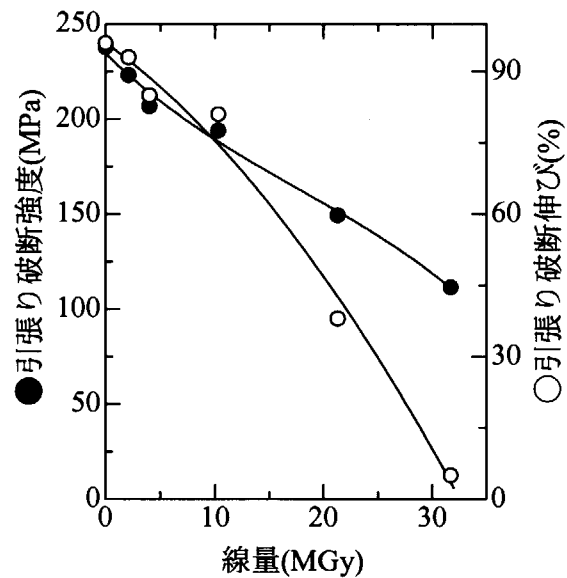
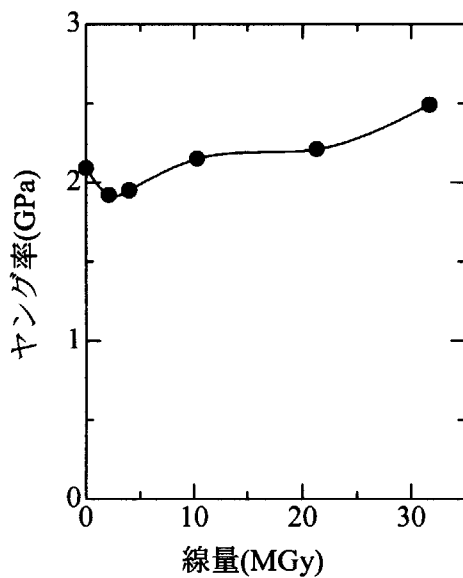


データシート No IM-10
 出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率;1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.09 \pm 0.040	237.8 \pm 12.4	96 \pm 7
2.10	1.92 \pm 0.14	223.1 \pm 8.0	93 \pm 5
4.00	1.95 \pm 0.18	206.8 \pm 11.3	85 \pm 10
10.30	2.15 \pm 0.14	193.9 \pm 11.7	81 \pm 12
21.30	2.21 \pm 0.11	149.4 \pm 5.9	38 \pm 19
31.70	2.49 \pm 0.12	111.5 \pm 13.6	5 \pm 1

UPILEX-R 酸化系照射



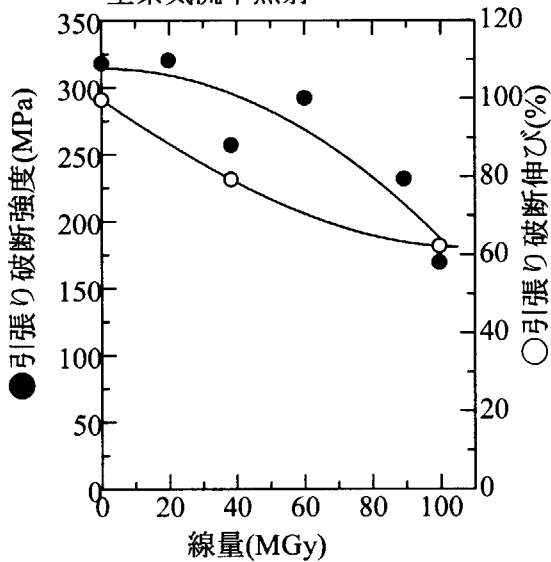
データシート No IM-11

出典: 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-129 (1988)

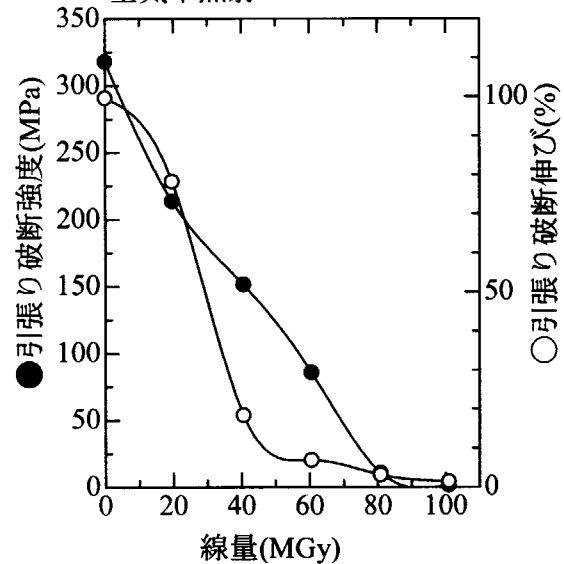
“ポリイミドの大量 γ 線照射”

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ 50 μ m、巾10mm×チャック間50mm 短冊状
照射条件	γ 線、線量率; 17 kGy/h、窒素気流中 γ 線、線量率; 17 kGy/h、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 50 mm/min)

UPILEX-R (厚さ50 μ m) γ 線照射
窒素気流中照射



空气中照射



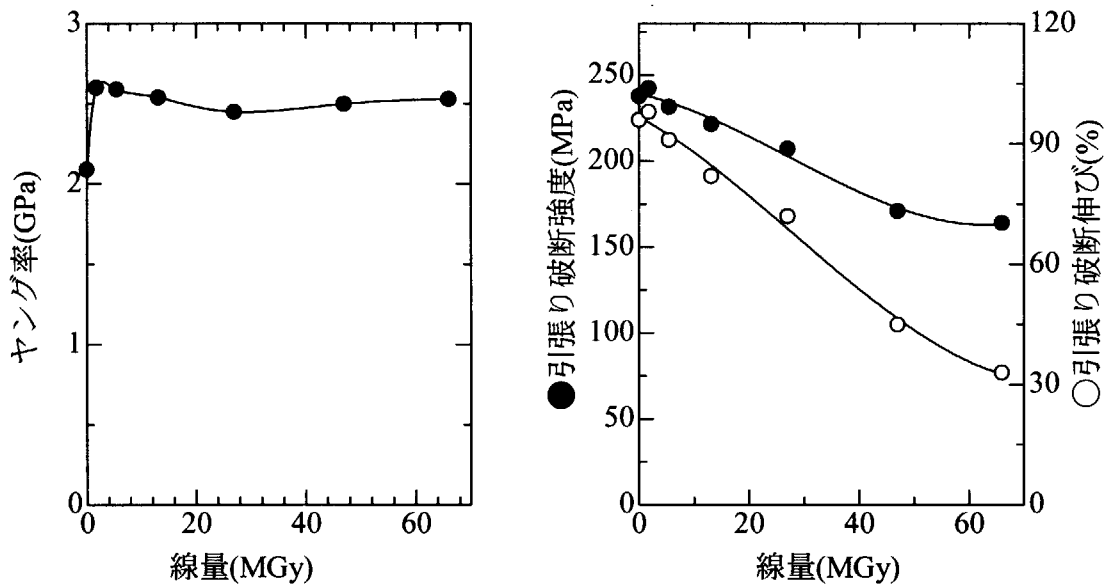
データシート No IM-12

出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)
 “全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率 7.5kGy/h 180 $^{\circ}$ C 窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.09 \pm 0.04	237.8 \pm 12.4	96 \pm 7
1.75	2.60 \pm 0.17	242.5 \pm 3.0	98 \pm 2
5.44	2.59 \pm 0.07	231.6 \pm 5.8	91 \pm 2
13.11	2.54 \pm 0.06	221.6 \pm 3.9	82 \pm 2
26.99	2.45 \pm 0.04	207.1 \pm 5.8	72 \pm 4
46.91	2.50 \pm 0.05	171.0 \pm 2.5	45 \pm 2
65.94	2.53 \pm 0.04	164.0 \pm 2.4	33 \pm 5

UPIREX-R 180 $^{\circ}$ C非酸化系照射 \Rightarrow 室温測定



データシート No IM-13

出典;電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、フレキシブル基板
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、ASTEM 1822 ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(25, 100, 180 $^{\circ}$ C、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	2.37 \pm 0.14	283.4 \pm 18.0	117 \pm 6
10	2.04 \pm 0.19	239.8 \pm 5.1	97 \pm 4
30	2.49 \pm 0.12	214.6 \pm 21.5	75 \pm 9
60	2.20 \pm 0.15	186.4 \pm 9.9	56 \pm 5
90	2.31 \pm 0.12	150.6 \pm 4.3	30 \pm 3
120	2.33 \pm 0.06	140.4 \pm 2.4	15 \pm 3

100 $^{\circ}$ C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	1.61 \pm 0.09	247.8 \pm 23.6	125 \pm 14
10	1.20 \pm 0.09	225.8 \pm 5.6	109 \pm 4
30	1.29 \pm 0.14	213.3 \pm 25.8	89 \pm 16
60	1.52 \pm 0.18	169.3 \pm 10.8	62 \pm 7
90	1.67 \pm 0.14	136.4 \pm 5.3	37 \pm 4
120	1.54 \pm 0.30	130.4 \pm 6.1	31 \pm 3

180 $^{\circ}$ C測定

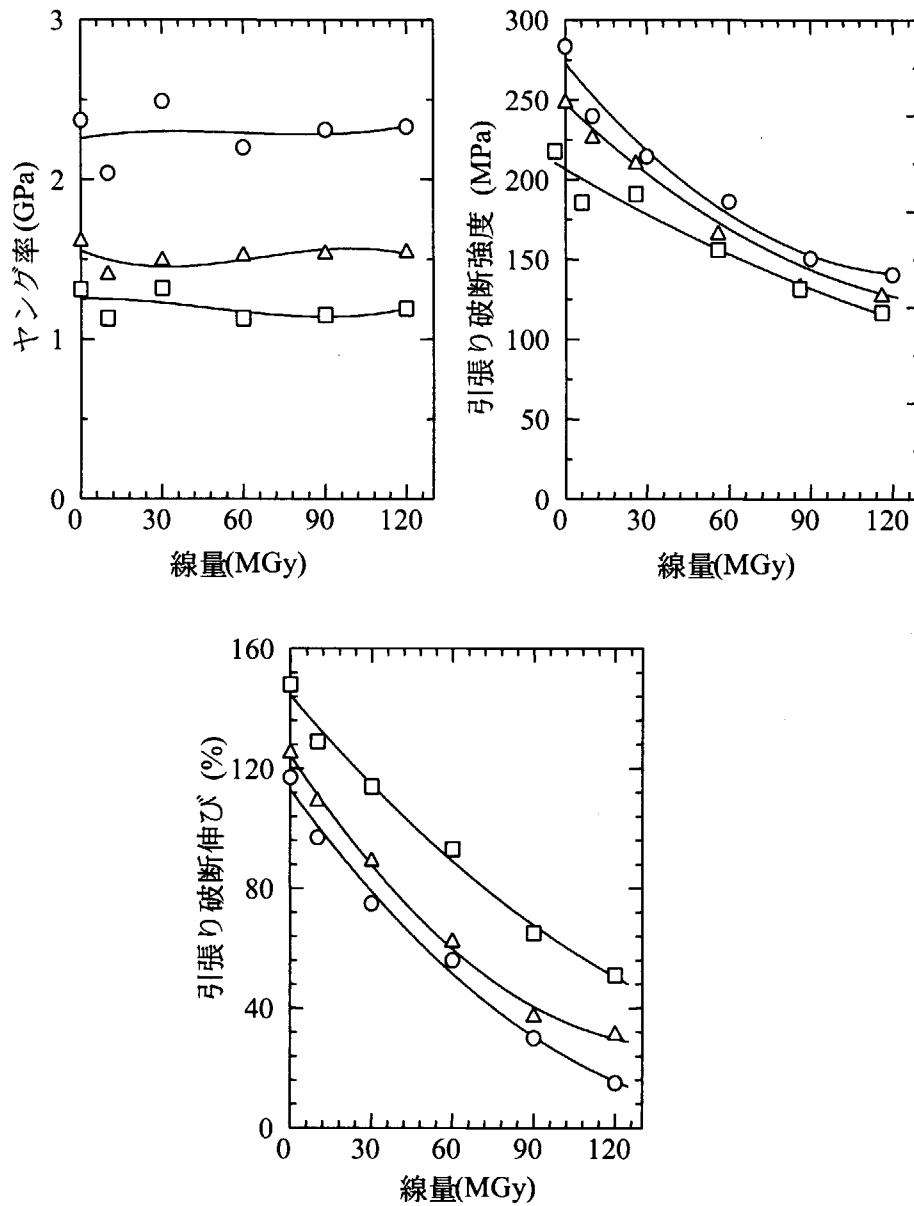
線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	1.31 \pm 0.09	221.5 \pm 13.1	148 \pm 9
10	1.13 \pm 0.35	189.3 \pm 4.7	129 \pm 5
30	1.32 \pm 0.25	194.8 \pm 15.3	114 \pm 10
60	1.13 \pm 0.16	159.7 \pm 7.1	93 \pm 6
90	1.15 \pm 0.14	135.1 \pm 10.4	65 \pm 7
120	1.19 \pm 0.13	120.4 \pm 5.1	51 \pm 5

プロットは次ページ

照射 UPILEX-R の高温特性変化のプロット

電子線照射したUPILEX-Rの高温特性変化

○ ; 25℃測定 △ ; 100℃測定 □ ; 180℃測定



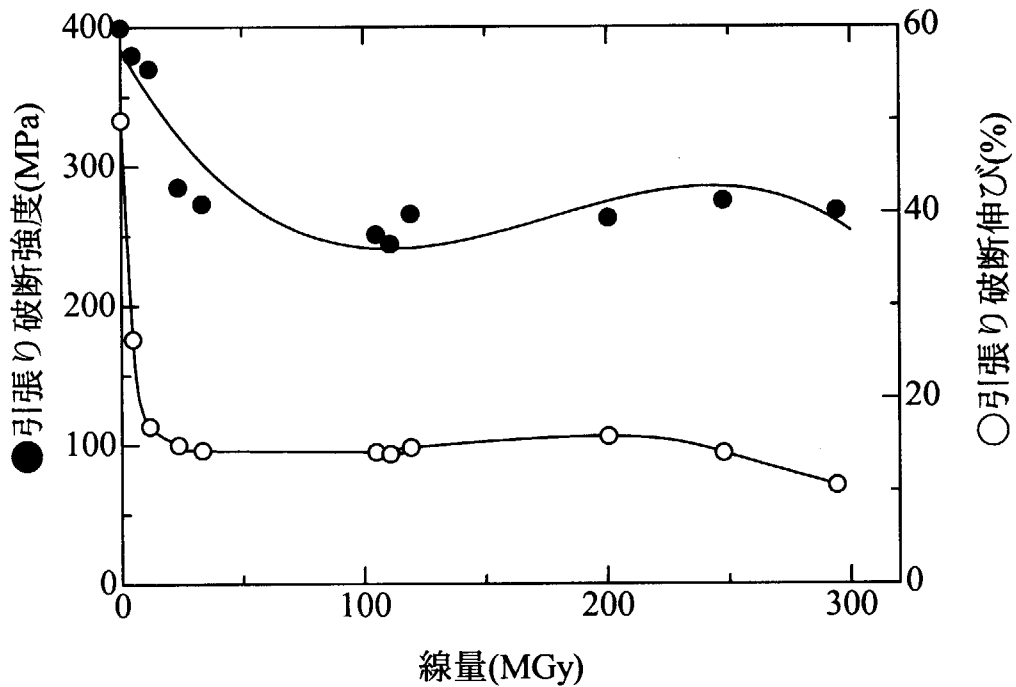
データシート No IM-14

出典：武蔵工業大学大学院 修士論文(1995)

“核融合炉用絶縁材料の耐放射線性に関する研究”

材料名	ポリイミド UPILEX-S
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ 50 μm、巾10mm×チャック間50mm 短冊状
照射条件1	γ線、線量率; 17 kGy/h、窒素気流中 γ線、線量率; 17 kGy/h、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 50 mm/min)

UPIREX-S 窒素気流中大線量電子線照射

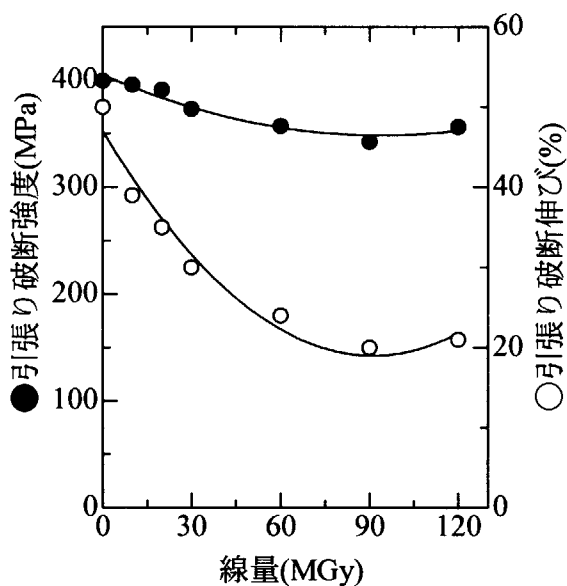
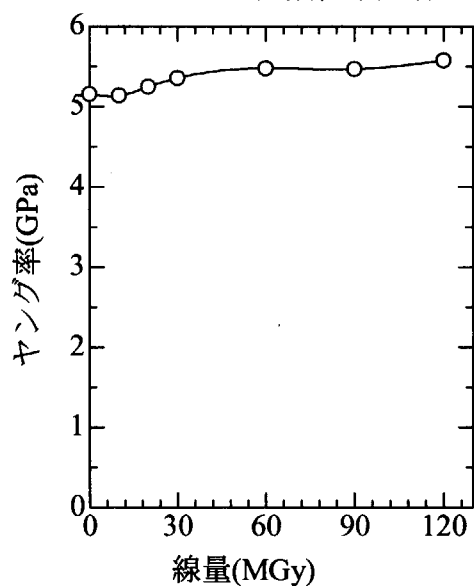


データシート No IM-15
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	ポリアミド UPILEX-S
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5×10^3 Gy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	5.16 \pm 0.15	399.6 \pm 12.7	50 \pm 5
10.00	5.14 \pm 0.30	395.8 \pm 22.4	39 \pm 5
20.00	5.25 \pm 0.28	390.9 \pm 14.4	35 \pm 3
30.00	5.36 \pm 0.09	373.2 \pm 11.5	30 \pm 3
60.00	5.48 \pm 0.13	357.2 \pm 11.7	24 \pm 3
90.00	5.47 \pm 0.25	342.4 \pm 7.1	20 \pm 2
120.00	5.58 \pm 0.14	356.2 \pm 7.0	21 \pm 1

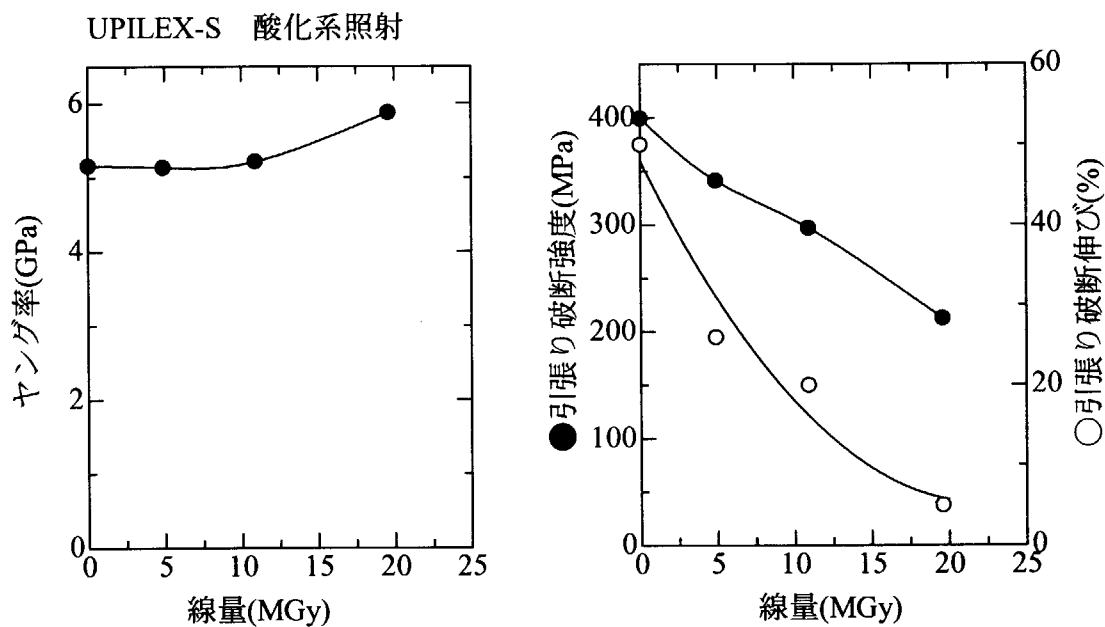
UPILEX-S 非酸化系照射



データシート No IM-16
 出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド UPILEX-S
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	5.16 \pm 0.15	399.6 \pm 12.7	50 \pm 5
4.90	5.14 \pm 0.60	341.2 \pm 16.8	26 \pm 2
10.90	5.22 \pm 0.25	296.8 \pm 7.4	20 \pm 11
19.60	5.88 \pm 0.30	212.2 \pm 21.7	5 \pm 1

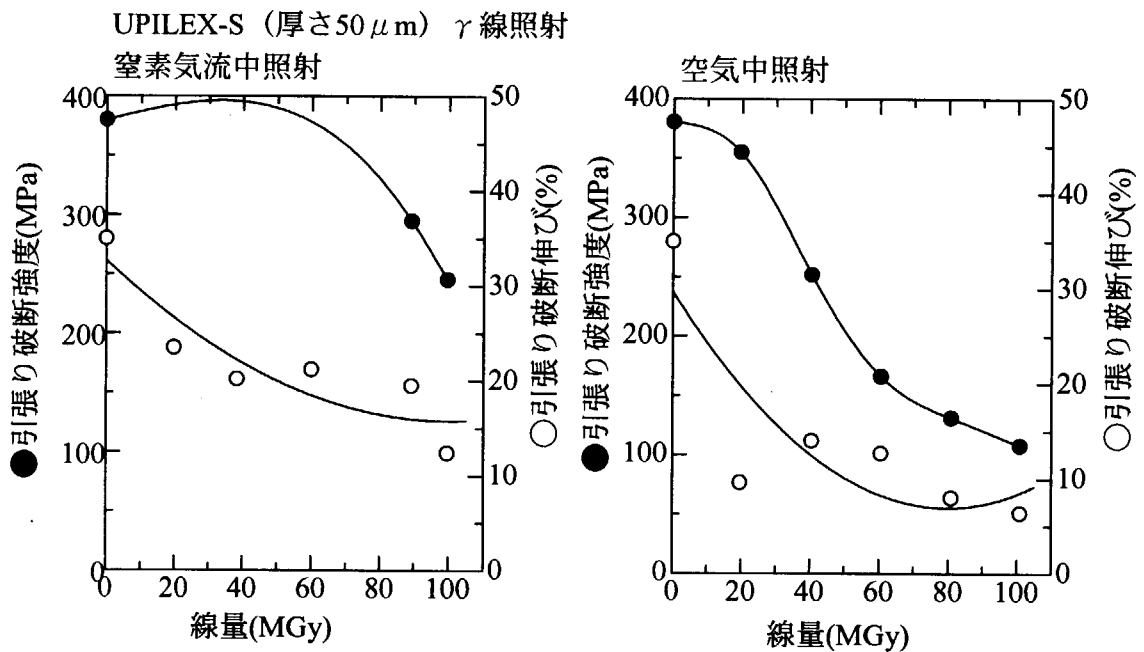


データシート No IM-17

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-129 (1988)

“ポリイミドの大量 γ 線照射”

材料名	ポリイミド UPILEX-R
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ 50 μ m、巾10mm×チャック間50mm 短冊状
照射条件1	γ 線、線量率; 17 kGy/h、窒素気流中 γ 線、線量率; 17 kGy/h、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 50 mm/min)



データシート No IM-18

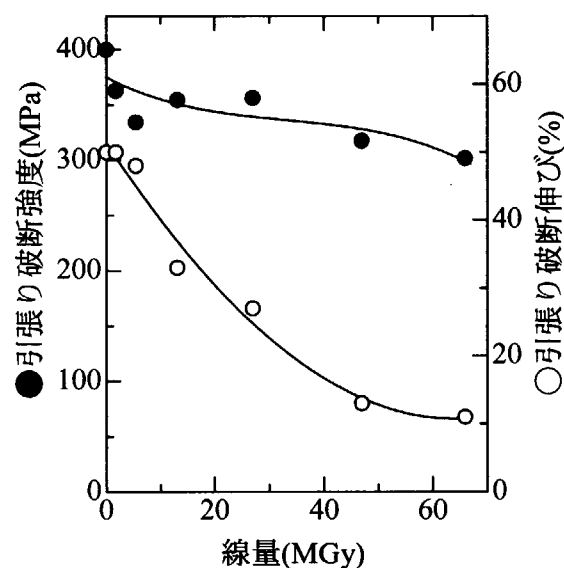
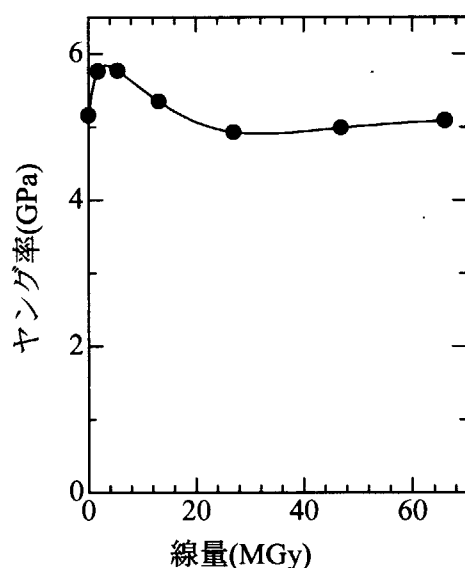
出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド UPILEX-S
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μm、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ線、線量率 7.5 kGy/h 180℃ 窒素気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	5.16 ± 0.15	399.6 ± 17.8	50 ± 5
1.75	5.76 ± 0.34	362.6 ± 11.4	50 ± 5
5.44	5.77 ± 0.37	334.3 ± 10.1	48 ± 2
13.11	5.35 ± 0.15	354.3 ± 18.5	33 ± 12
26.99	4.93 ± 0.14	356.0 ± 14.4	27 ± 5
46.91	4.99 ± 0.19	317.2 ± 13.6	13 ± 4
65.94	5.09 ± 0.10	301.4 ± 3.1	11 ± 1

UPIREX-S 180℃非酸化系照射 ⇒ 室温測定



データシート No IM-19

出典：電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-131 (1988)

“全芳香族系ポリマーの高温照射効果”

材料名	ポリイミド UPILEX-S
分子データ	Biphenyl tetracarboxylic acid dianhydride type
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	宇部興産(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(25, 100, 180 $^{\circ}$ C、引張り速度; 200mm/min)

25 $^{\circ}$ C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	4.60 \pm 0.45	394.8 \pm 15.0	40 \pm 3
30	4.84 \pm 0.49	371.4 \pm 18.5	32 \pm 3
60	4.82 \pm 0.22	372.7 \pm 14.6	27 \pm 3
90	5.11 \pm 0.30	335.7 \pm 5.7	24 \pm 2
120	5.00 \pm 0.32	328.0 \pm 14.4	15 \pm 2

100 $^{\circ}$ C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	2.84 \pm 0.34	377.9 \pm 9.0	46 \pm 3
30	2.79 \pm 0.28	353.5 \pm 7.2	39 \pm 2
60	2.86 \pm 0.29	339.4 \pm 16.9	30 \pm 4
90	2.48 \pm 0.37	319.9 \pm 13.1	27 \pm 11
120	2.93 \pm 0.32	283.3 \pm 12.2	18 \pm 2

180 $^{\circ}$ C測定

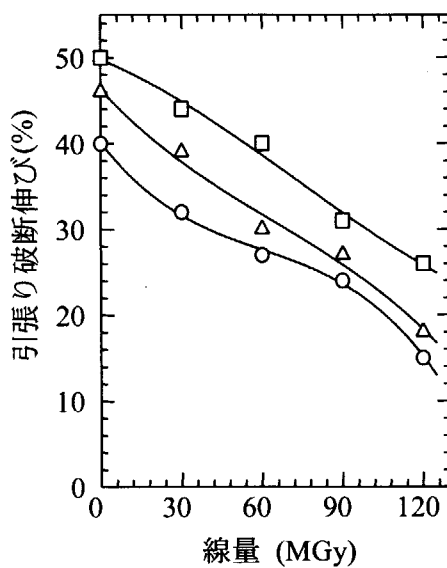
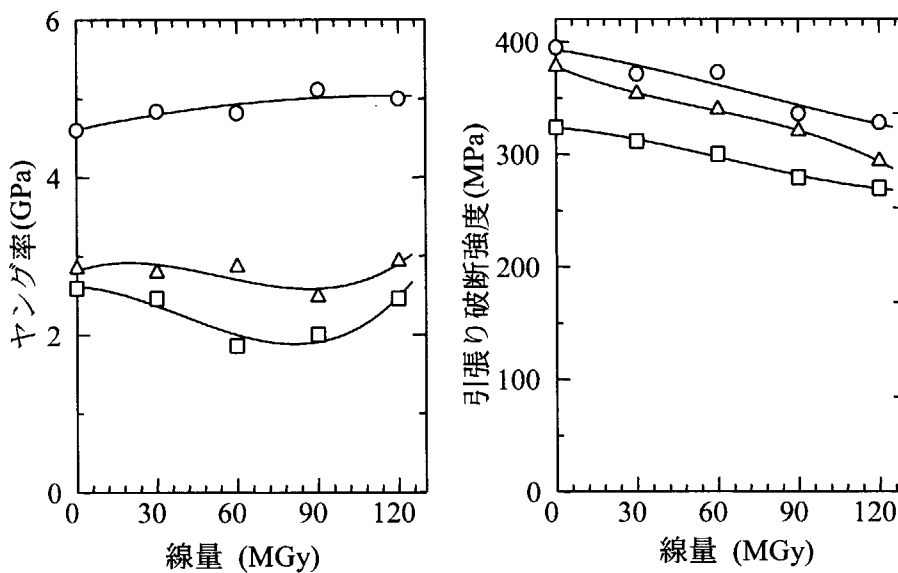
線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0	2.59 \pm 0.25	324.0 \pm 9.7	50 \pm 6
30	2.46 \pm 0.11	311.3 \pm 5.9	44 \pm 3
60	1.86 \pm 0.25	300.0 \pm 11.7	40 \pm 3
90	2.00 \pm 0.15	278.9 \pm 9.6	31 \pm 3
120	2.46 \pm 0.30	269.4 \pm 14.0	26 \pm 4

プロットは次ページ

照射 UPILEX-S の高温特性変化のプロット

電子線照射したUPILEX-Sの高温特性変化

○ ; 25 °C測定 △ ; 100 °C測定 □ ; 180 °C測定

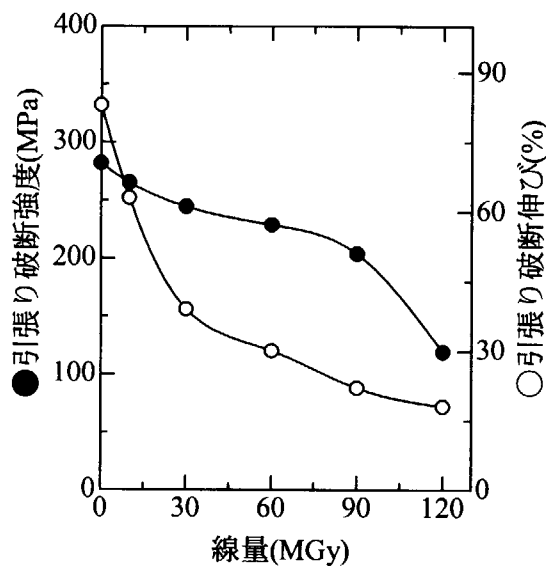
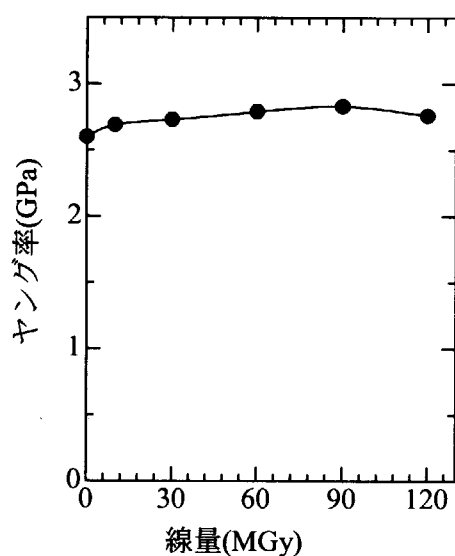


データシート No IM-20
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	ポリイミド Novax m/n = 80/20
分子データ	共重合型ポリイミド
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	三菱化成(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.60 \pm 0.09	282.0 \pm 12.9	83 \pm 6
10.00	2.69 \pm 0.20	265.2 \pm 12.6	63 \pm 3
30.00	2.73 \pm 0.08	244.4 \pm 7.4	39 \pm 4
60.00	2.79 \pm 0.11	228.8 \pm 11.3	30 \pm 2
90.00	2.83 \pm 0.12	203.8 \pm 4.1	22 \pm 1
120.00	2.76 \pm 0.15	119.1 \pm 5.1	18 \pm 2

Novax 80/20 非酸化系照射



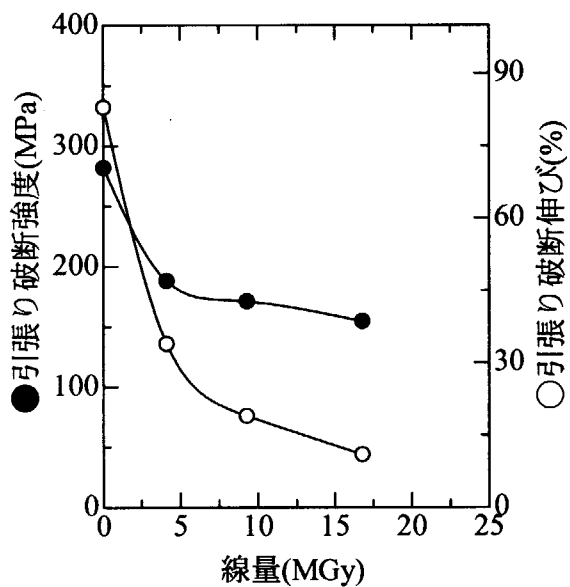
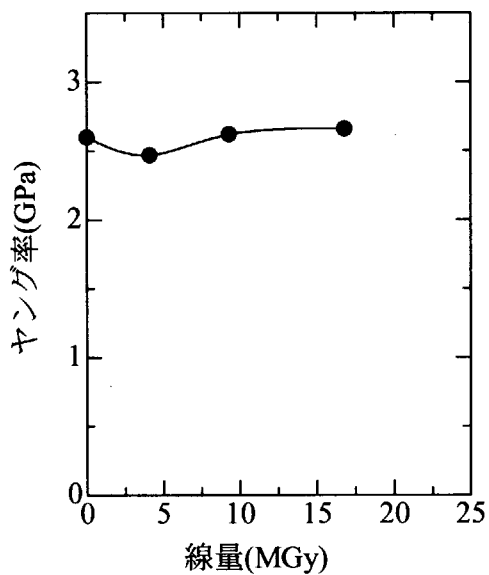
データシート No IM-21

出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド Novax m/n = 80/20
分子データ	共重合型ポリイミド
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	三菱化成(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率;1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.60 \pm 0.09	282.0 \pm 12.9	83 \pm 6
4.10	2.47 \pm 0.05	188.1 \pm 3.6	34 \pm 2
9.30	2.62 \pm 0.10	171.1 \pm 4.8	19 \pm 2
16.80	2.66 \pm 0.06	154.5 \pm 5.1	11 \pm 2

Novax 80/20 酸化系照射

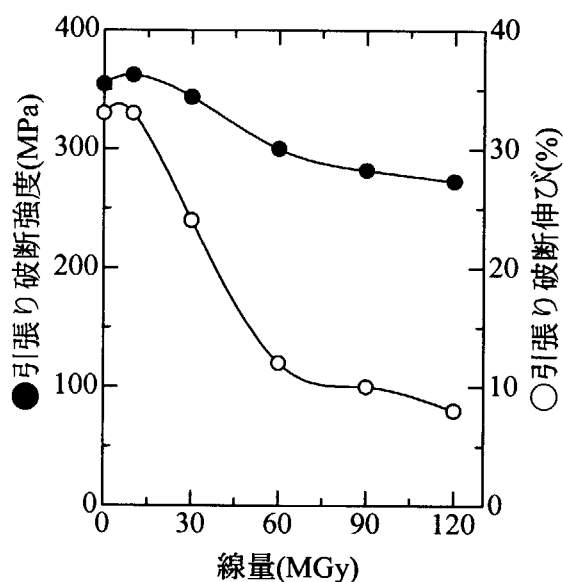
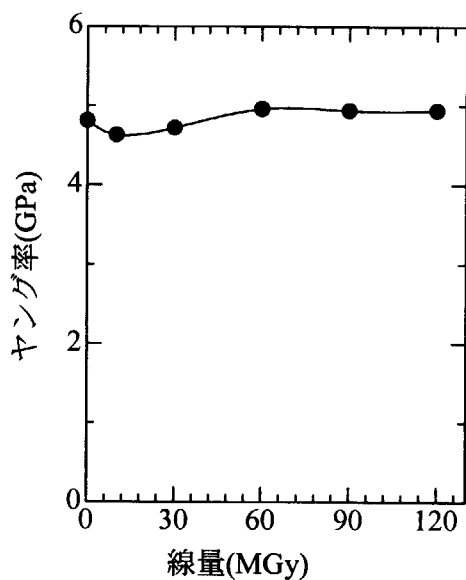


データシート No IM-22
 出典; Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	ポリイミド Novax m/n = 50/50
分子データ	共重合型ポリイミド
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	三菱化成(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	4.81 \pm 0.15	354.5 \pm 19.0	33 \pm 8
10.00	4.63 \pm 0.39	343.7 \pm 6.4	33 \pm 5
30.00	4.72 \pm 0.39	362.1 \pm 13.4	24 \pm 2
60.00	4.96 \pm 0.46	300.1 \pm 7.5	12 \pm 1
90.00	4.94 \pm 0.26	282.2 \pm 7.4	10 \pm 0.2
120.00	4.94 \pm 0.62	273.0 \pm 32.8	8 \pm 1

Novax 50/50 非酸化系照射

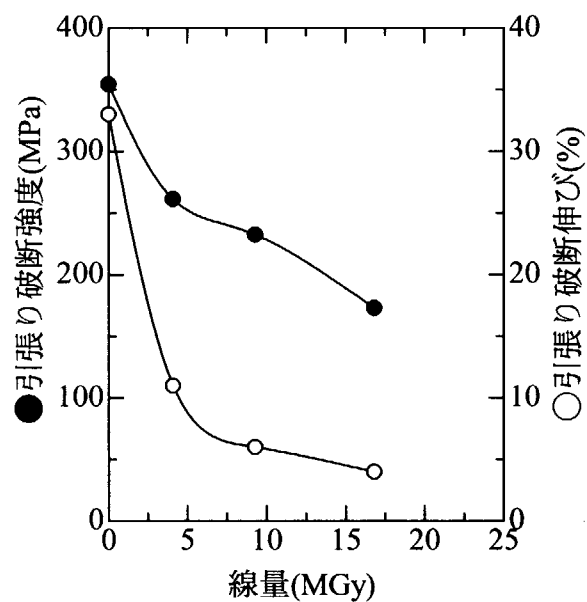
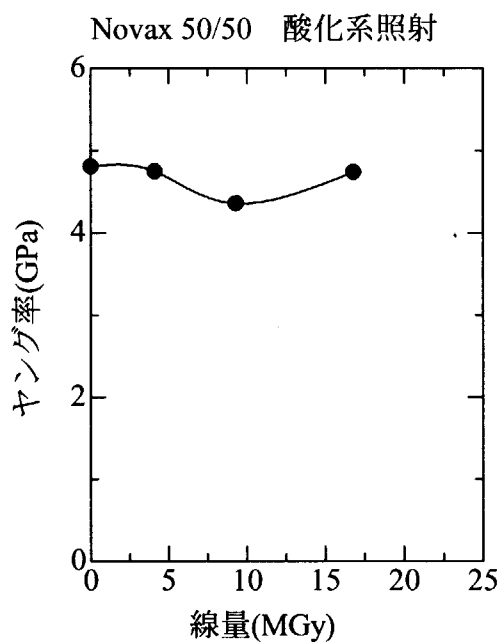


データシート No IM-23

出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド Novax m/n = 50/50
分子データ	共重合型ポリイミド
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム
製作者	三菱化成(株)
形状	厚さ125 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	4.81 \pm 0.15	354.5 \pm 19.0	33 \pm 8
4.10	4.75 \pm 0.13	261.3 \pm 2.9	11 \pm 1
9.30	4.36 \pm 0.21	232.6 \pm 5.9	6 \pm 1
16.80	4.74 \pm 0.20	173.0 \pm 8.0	4 \pm 1

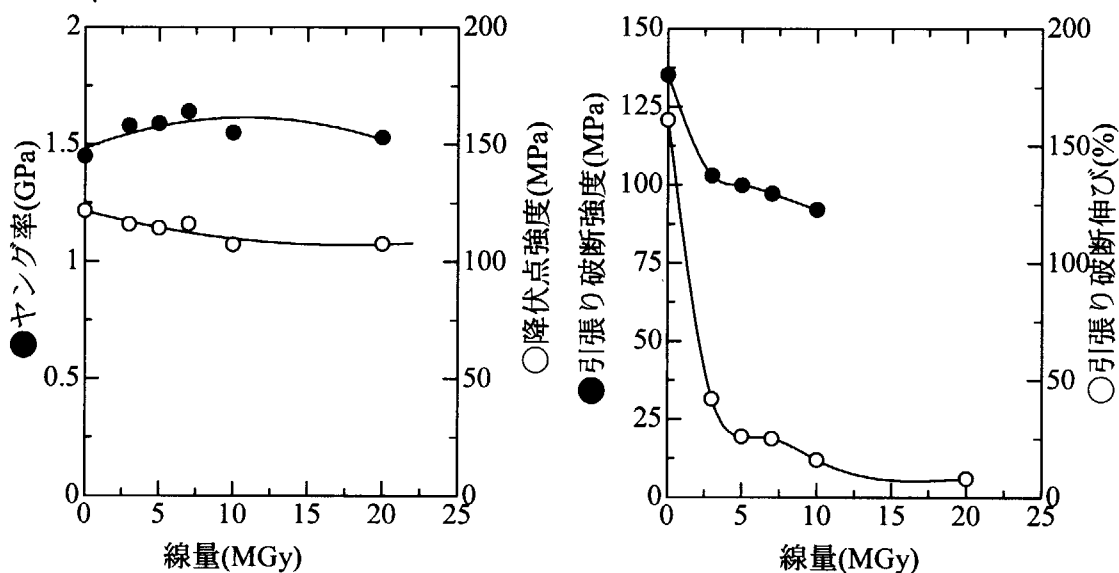


データシート No IM-24
 出典: Polymer, 26, 1039(1985)

材料名	ポリイミド Ultem 1000
分子データ	ポリアーテルイミド(熱可塑性)
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	GE
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.45 \pm 0.04	121.7 \pm 1.7	135.1 \pm 9.1	161 \pm 20
3.00	1.58 \pm 0.10	116.0 \pm 4.3	103.0 \pm 4.9	42 \pm 20
5.00	1.59 \pm 0.07	114.3 \pm 2.5	99.9 \pm 2.0	26 \pm 10
7.00	1.64 \pm 0.10	116.1 \pm 3.5	97.2 \pm 3.0	25 \pm 21
10.00	1.35 \pm 0.10	107.3 \pm 1.5	92.1 \pm 2.5	16 \pm 5
20.00	1.53 \pm 0.02	107.6 \pm 1.6		8 \pm 1

ULTEM 非酸化系照射

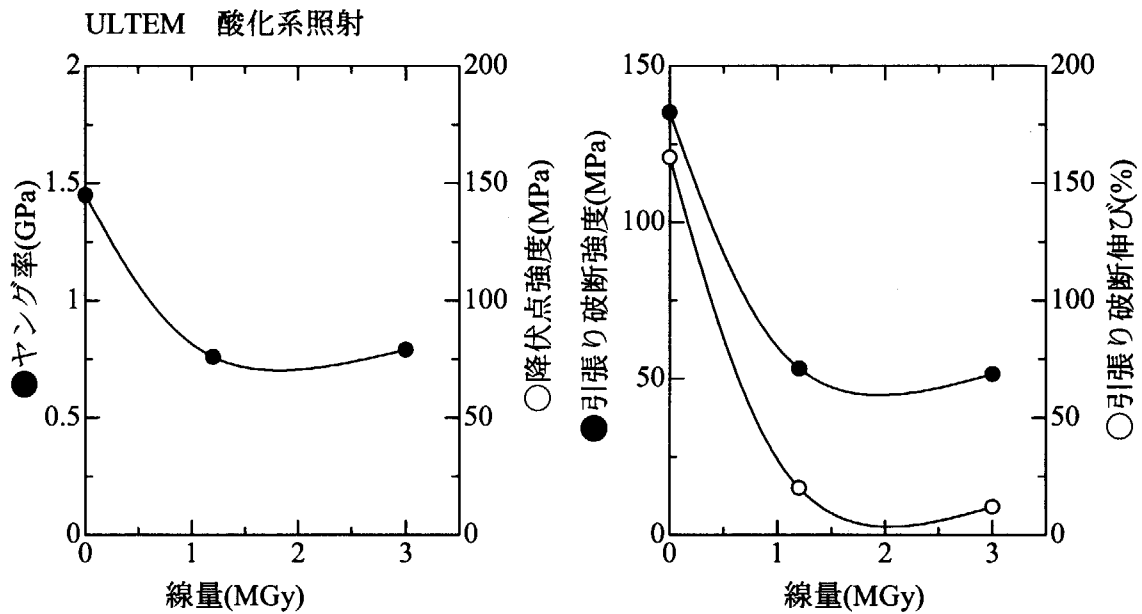


データシート No IM-25

出典; Polymer, 29, 1562(1988)

材料名	ポリイミド Ultem 1000
分子データ	ポリエーテルイミド(熱可塑性)
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	GE
形状	厚さ100 μ m、JIS4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率;1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.45 \pm 0.04	135.1 \pm 9.1	161 \pm 20
1.20	0.76 \pm 0.05	53.2 \pm 1.3	20 \pm 9
3.00	0.79 \pm 0.01	51.5 \pm 4.8	12 \pm 3

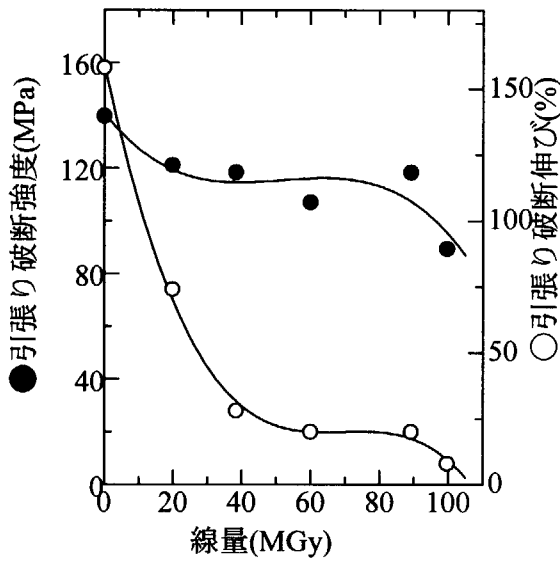


データシート No IM-26

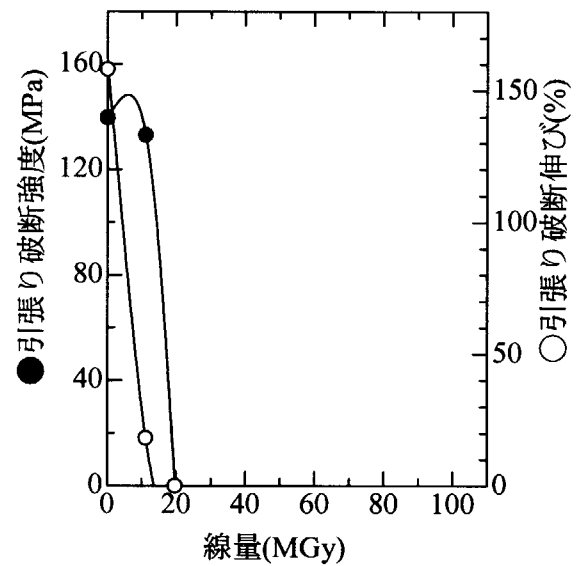
出典; 電気学会研究会資料 絶縁材料研究会 EIM-88-129 (1988)
 “ポリイミドの大量 γ 線照射”

材料名	ポリイミド Ultem
分子データ	ポリエーテルイミド(熱可塑性)
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	GE
形状	厚さ 50 μ m、巾10mm×チャック間50mm 短冊状
照射条件1	γ 線、線量率;17 kGy/h、窒素気流中 γ 線、線量率;17 kGy/h、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;50 mm/min)

ULTEM (厚さ50 μ m) γ 線照射
 窒素気流中照射



空气中照射

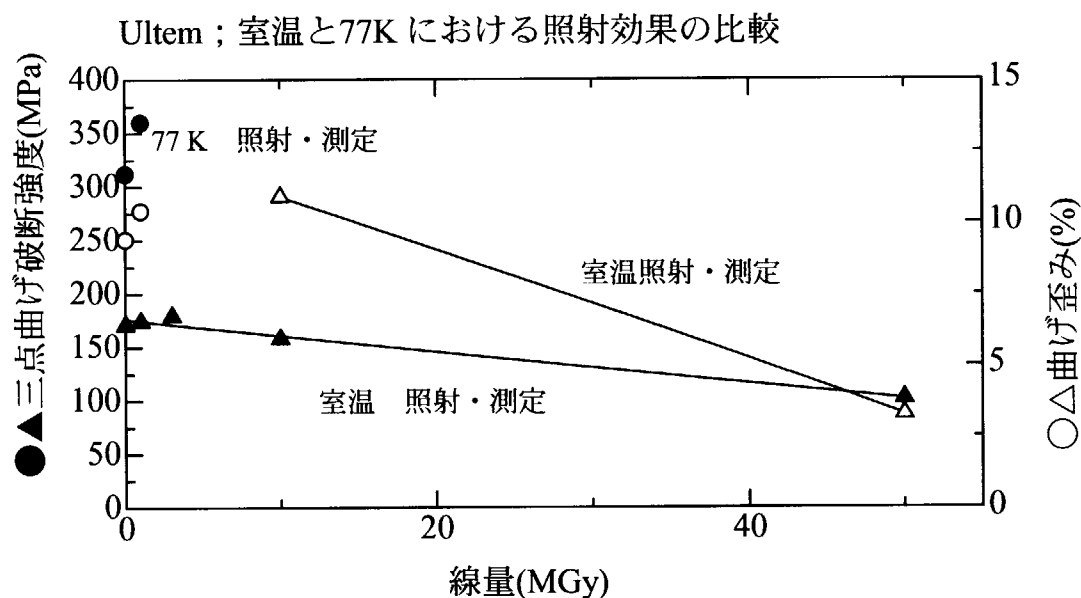


データシート No IM-27

出典; RESULTS OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIAL FOR LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	ポリイミド Ultem 1000
分子データ	ポリエーテルイミド(熱可塑性)
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	Erta-Epec
形状	三点曲試料、詳細不明
照射条件	原子炉 室温及び77K
測定	三点曲げ試験(室温、77K; 2mm/min、スパン67mm)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	171.0±1.1	>15	3.2±0.1	312±5	9.4±0.0	4.1±0.2
1.0	174.1±1.5	>15	3.2±0.1	360±35	10.4±0.1	3.7±0.2
3.0	179.2±1.2	>15	3.2±0.1			
10.0	157.9±28.6	10.9±5.61	3.3±0.0			
50.0	101.8±6.8	3.27±0.2	3.3±0.0			

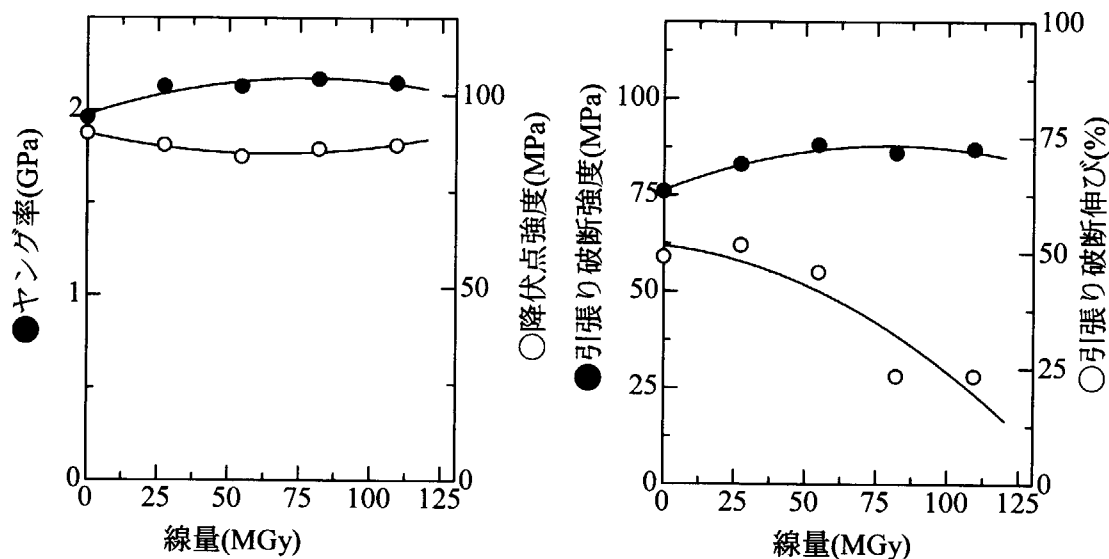


データシート No IM-28
 出典; Polymer, 32, 2499(1991)

材料名	ポリイミド AURUM
分子データ	熱可塑性
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ2m、インジェクション成形ダンベル
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 5mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.27 ± 0.08	104.2 ± 6.8	90.3 ± 1.3	79 ± 11
27.30	1.26 ± 0.03	92.2 ± 0.1	81.4 ± 3.1	59 ± 1
54.60	1.29 ± 0.09	92.0 ± 0.72	83.7 ± 2.5	38 ± 10
81.90	1.41 ± 0.047	104.5 ± 1.24	98.4 ± 1.8	39 ± 9
109.20	1.33 ± 0.10	94.2 ± 1.5	87.8 ± 1.6	21 ± 3

AURUM インジェクション 成型品 非酸化系照射



データシート No IM-29

出典; Polymer, 32, 2499(1991)

材料名	ポリイミド AURAM
分子データ	熱可塑性
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品、マトリックス樹脂
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ2m、インジェクション成形ダンベル
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(23, 150, 200, 240°C、引張り速度; 5mm/min)

150°C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.77	54.0	43.0	80
27.3	1.78	48.0	55.0	84
54.6	1.79	48.0	57.0	68
81.9	1.85	49.0	63.0	64
109.2	1.95	51.0	61.0	48

200°C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	1.39	37.0	27.0	190
27.3	1.53	35.0	41.0	99
54.6	1.60	36.0	47.0	89
81.9	1.71	40.0	48.0	81
109.2	1.69	45.0	50.0	51

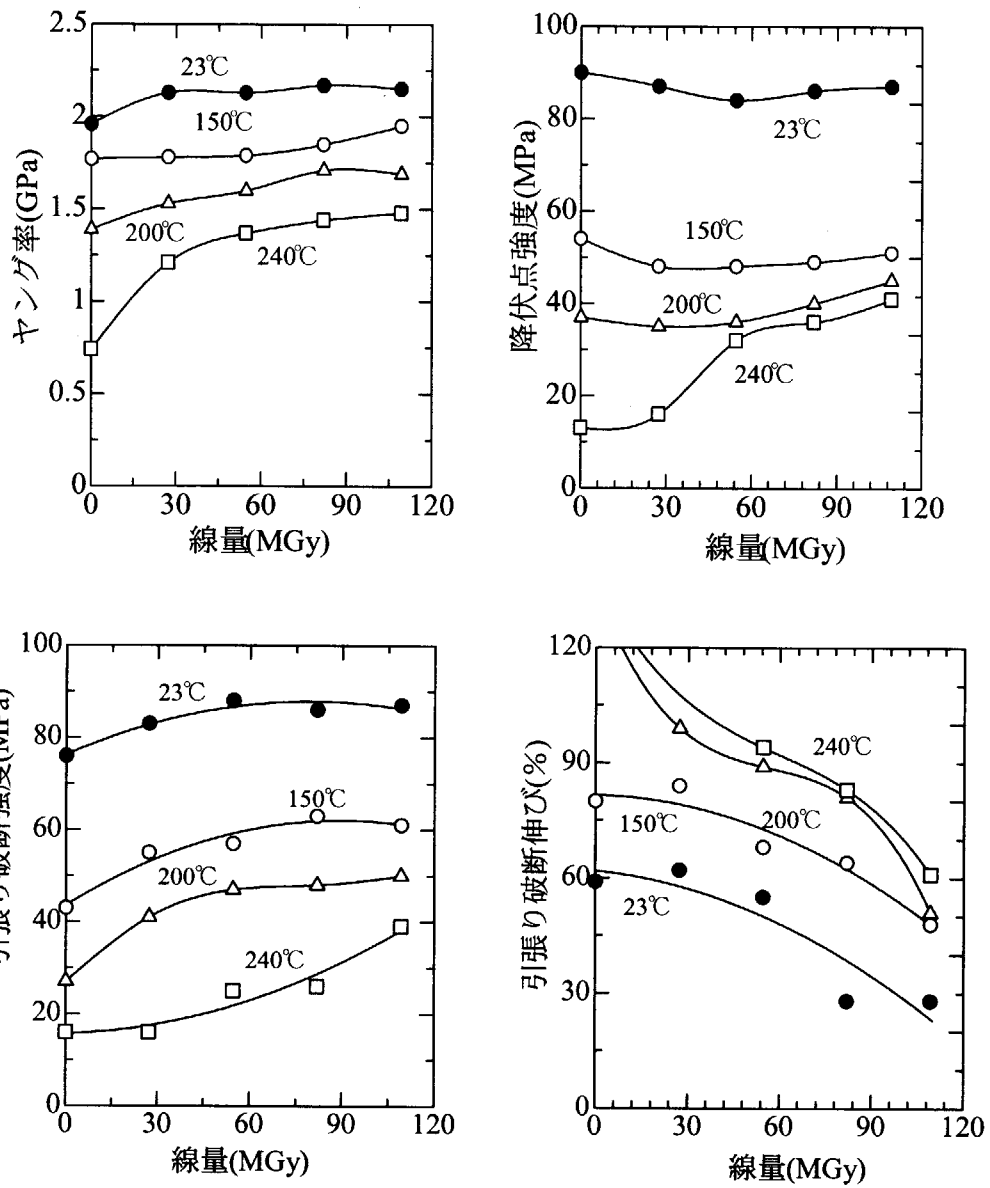
240°C測定

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	0.74	13.0	16.0	470
27.3	1.21	16.0	16.0	127
54.6	1.37	32.0	25.0	94
81.9	1.44	36.0	26.0	83
109.2	1.48	41.0	39.0	61

プロットは次ページ

熱可塑性イミドAURUM 照射後の高温特性プロット

電子線照射したAURUM の高温特性変化

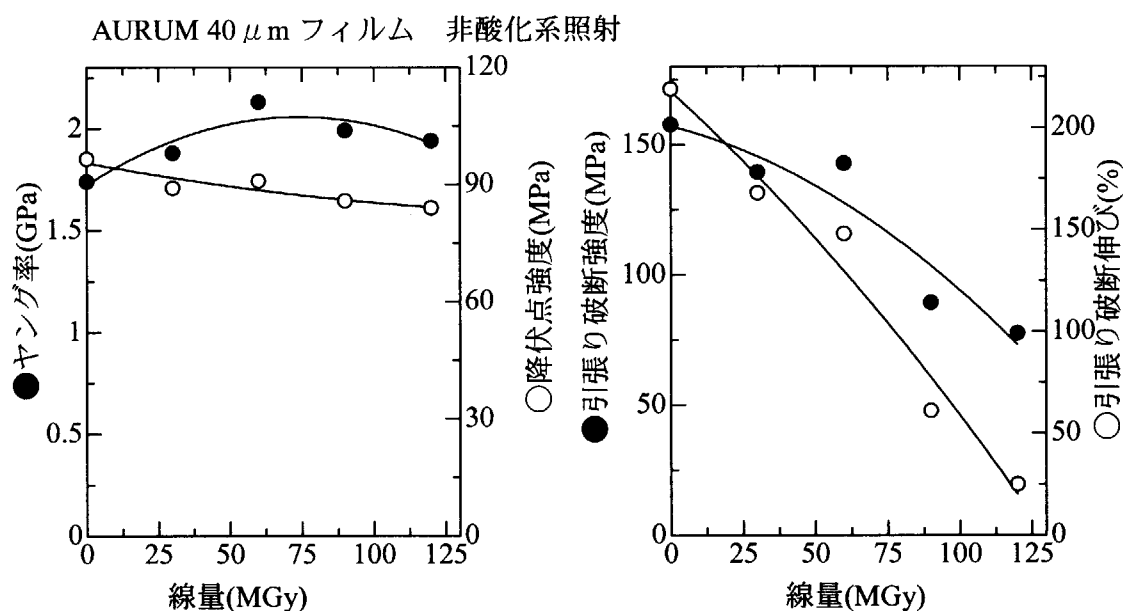


データシート No IM-30

出典;技術セミナー Insulation 2000 講演要旨集(2000) 電気絶縁材料工業会
 “有機材料の放射線損傷”

材料名	ポリイミド AURAM フィルム
分子データ	熱可塑性
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品、マトリックス樹脂
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ 40 μ m、JIS 4号ダンベルに切り出し
照射条件	電子線、線量率; 5 kGy/s、空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.74 \pm 0.11	96.6 \pm 10.4	157.7 \pm 12.2	219 \pm 9
30.00	1.88 \pm 0.08	89.1 \pm 1.3	1359.5 \pm 3.6	168 \pm 7
60.00	2.13 \pm 0.04	90.9 \pm 1.16	142.8 \pm 5.0	148 \pm 2
90.00	1.99 \pm 0.18	85.8 \pm 7.7	89.3 \pm 11.9	61 \pm 8.2
120.00	1.94 \pm 0.17	84.0 \pm 5.8	77.6 \pm 6.5	25 \pm 21



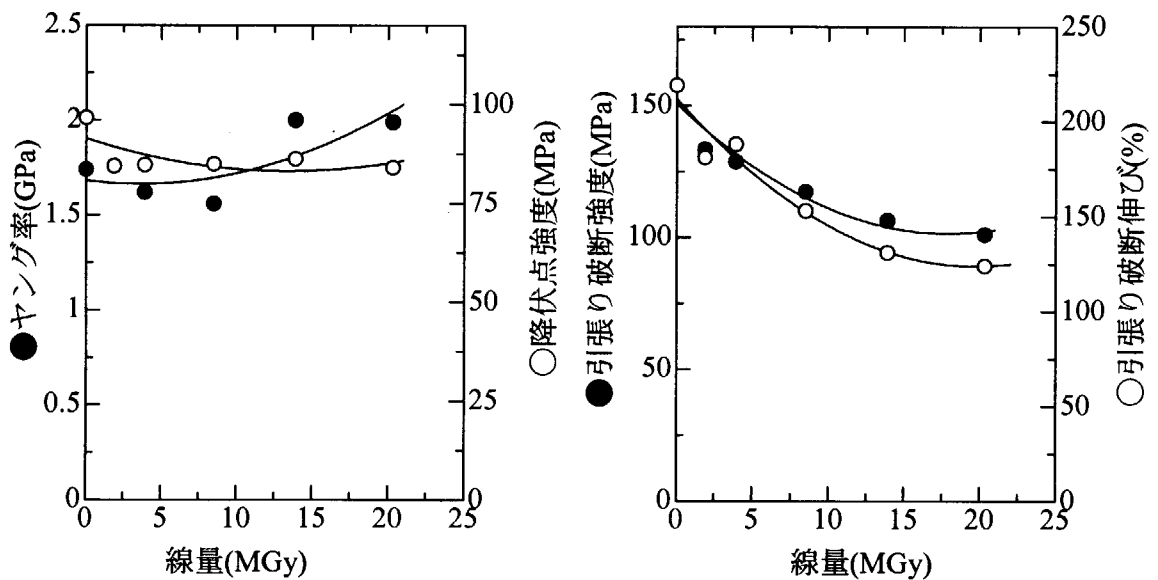
データシート No IM-31

出典; 技術セミナー Insulation 2000 講演要旨集(2000) 電気絶縁材料工業会
 “有機材料の放射線損傷”

材料名	ポリイミド AURAM フィルム
分子データ	熱可塑性
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品、マトリックス樹脂
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ 40 μ m、JIS 4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率;1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	降伏点強度 MPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	1.74 \pm 0.11	96.6 \pm 10.4	157.7 \pm 12.2	219 \pm 9
1.88	175 \pm 0.13	84.4 \pm 5.4	133.4 \pm 5.1	181 \pm 9
3.92	1.62 \pm 0.05	84.7 \pm 2.5	128.7 \pm 2.7	188 \pm 6
8.50	1.56 \pm 0.10	84.9 \pm 5.7	117.4 \pm 9.3	153 \pm 29
13.90	2.00 \pm 0.14	86.2 \pm 5.5	106.5 \pm 8.4	131 \pm 10
20.32	1.99 \pm 0.04	84.0 \pm 2.3	101.2 \pm 3.9	124 \pm 15

AURUM 40 μ m フィルム 酸化系照射



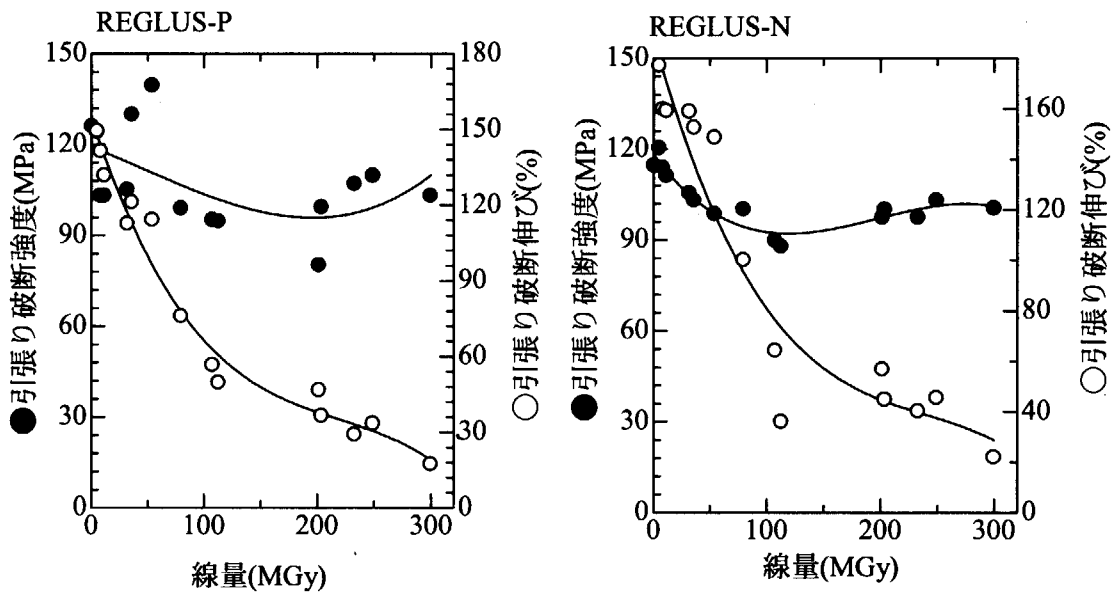
データシート No IM-32

出典：武蔵工業大学大学院 修士論文(1995)

“核融合炉用絶縁材料の耐放射線性に関する研究“

材料名	ポリイミド REGULUS-P, N
分子データ	熱可塑性
主な用途	絶縁材料、耐熱性フィルム、成型品
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ 100 μ m、JIS 4号ダンベルに切り出し
照射条件	γ 線、線量率; 1.39Gy/s、酸素 0.7MPa 加圧
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

窒素気流中大線量電子線照射

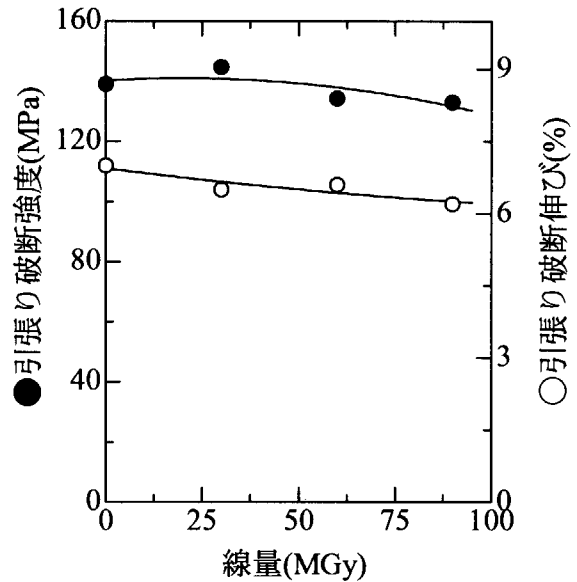
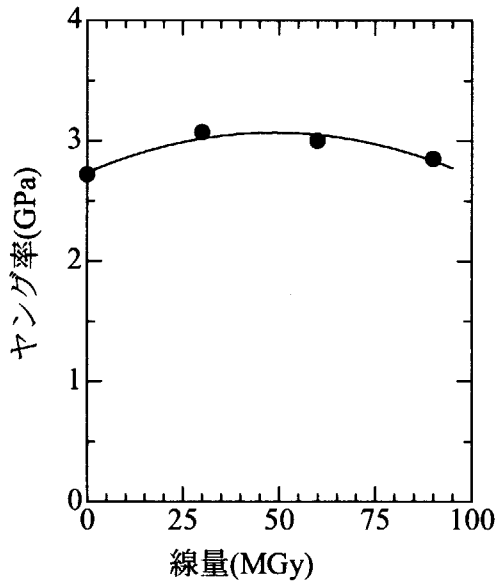


データシート No IM-33
 出典; Polymer, 32, 1539 (1991)

材料名	ポリイミド LARC TPI 1500
分子データ	熱可塑性
主な用途	マトリックス樹脂
製作者	三井東圧(株)
形状	厚さ 400 μ m、10mm \times 100mm短冊状に切り出し
照射条件	電子線 5 kGy/s 空气中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

線量 MGy	ヤング率 GPa	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	2.72 \pm 0.26	139.0 \pm 5.9	7.0 \pm 1.1
30.00	3.07 \pm 0.16	144.7 \pm 7.3	6.5 \pm 0.6
60.00	3.00 \pm 0.18	134.2 \pm 5.8	6.6 \pm 0.7
90.00	2.85 \pm 0.17	133.0 \pm 5.4	6.2 \pm 0.4

LARC-TPI 1500 非酸化系照射



5. CERN データ -1 エポキシ樹脂

CERN の European Organization for Nuclear Research では、同所の加速器に実使用されている高分子系の絶縁材料の耐放射線性に関するデータを収集し、加速器施設のメンテナンスに活かされており、また公表もされている。

加速器施設では電磁石が多用されるが、その絶縁材料として、エポキシ樹脂、エポキシモルディング樹脂とガラス繊維強化プラスチック(FRP)が用いられている。これらに関する高線量率(原子炉、ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria))、低線量率(Co-60 γ 線, Ionisos in Dagneux (France))照射効果及び低温照射効果(原子炉、IVV-2M(15MW) reactor (Russia))に関する1996, 1998年の報告から重要と思われる材料のデータを掲載する。

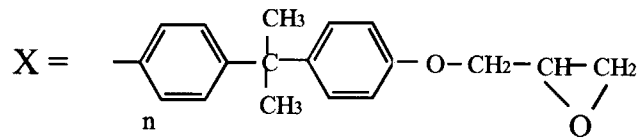
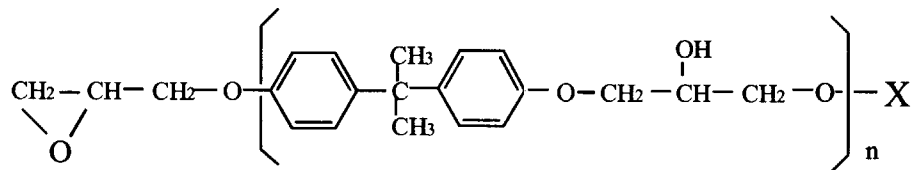
なお、原子炉照射と言っても γ 線が全線量のほとんどを占め、高速中性子の損傷・劣化への寄与は少なく、 γ 線照射効果と同等に考えて良い。

加速器施設での実使用材料であるため、材料供給企業で定番化された材料が対象となっている。したがって、その組成が明確でない材料が多く、材料組成・構成と耐放射線性を系統的に解析できるデータとはなっていない。その反面、定番化された材料であるので、そのハンドリングが確立された材料であり、使用する放射線環境に合わせた材料選択には有益なデータである。材料組成・構成と耐放射線性が系統的に解釈できるデータは後の項でまとめてある。

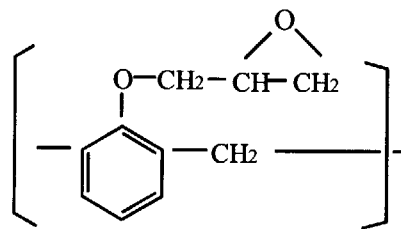
エポキシはビスフェノールAベースの2官能性ジグリシジル系が多く、一部ノボラック型のエポキシが使用されている。硬化剤には種々の酸無水物が使用されている。これは、耐放射線性のみを追求した選択ではなく、硬化温度を低く抑えること等も考慮した選択である。

エポキシ樹脂の分子構造

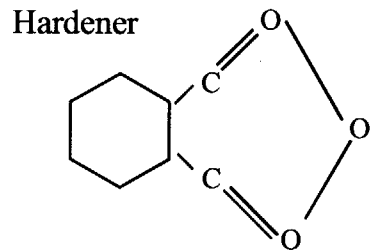
CERNではヨーロッパの高分子系企業が製品化しているエポキシ及びプリプレグを用いている。日本では、なじみが薄いので、化学名と製品名を併記した。また、エポキシモノマーは種々に変性をして使うことが多く、それに従い製品番号も違っている。



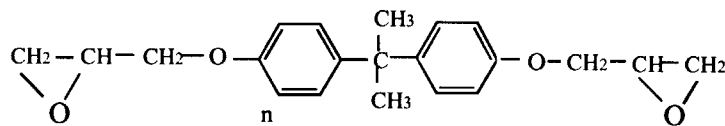
Epoxy resin based on Bisphenol A CY 221 YM 745



Polyglycidil ether of phenol formaldehyde novolac
PEN 1138



Hardener
Hexahydrophthalic anhydride
HY 905 HY 906



DGEBA; Diglycidil ether of bisphenol A

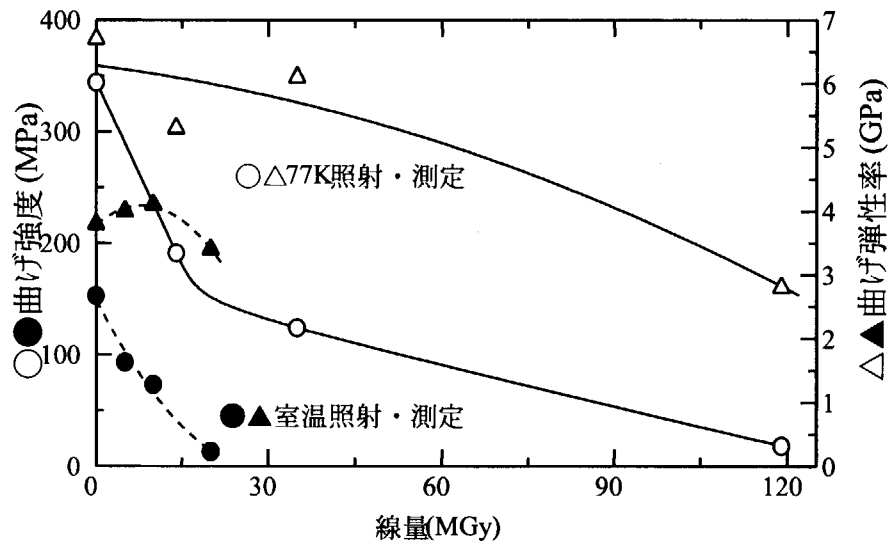
データシート No EPO-1

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂
分子データ	MY 745(50)+EPN 1138(50)+CY 221(20)+HY 905(120)+DY 073(0.3)
主な用途	ISR dipoles
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	152.6±3.0	13.1±1.9	3.8±0.03	344±19	3.5±0.5	6.7±0.9
5.0	93.0±2.0	6.1±0.3	4.0±0.03			
10.0	73.0±3.0	4.2±0.2	4.1±0.04			
14.0				191±13	3.5±0.3	5.3±0.2
20.0	13.0±1.0	1.1±0.1	3.4±0.04			
35.0				124±44	2.0±0.1	6.1±0.7
119.0				18±5.0	0.7±0.2	2.8±1.0

ビスフェノールA系エポキシ樹脂 1 照射/測定温度依存性



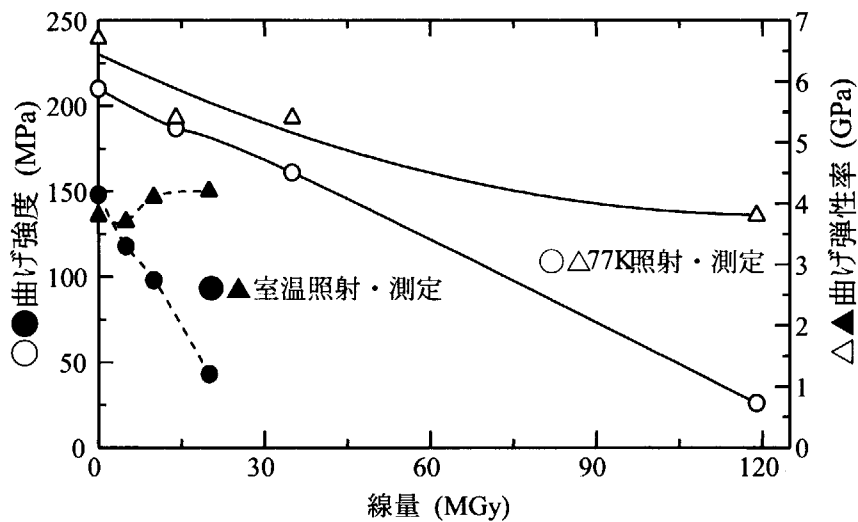
データシート No EPO-2

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂
分子データ	MY 745(100)+HY 906(90)+DY 073(1.5)
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	148.1±14.9	8.8±1.3	3.8±0.1	210±52	2.9±0.3	6.7±0.1
5.0	118.0±10.0	10.0±2.0	3.7±0.3			
10.0	98.0±5.9	7.2±1.4	4.1±0.4			
14.0				187±13	3.7±0.3	5.4±0.2
20.0	43.0±5.9	3.2±0.6	4.2±0.4			
35.0				161±8.0	2.9±0.2	5.4±0.3
119.0				26±3.0	0.7±0.1	3.8±0.3

ビスフェノールA系エポキシ樹脂 2 照射/測定温度依存性



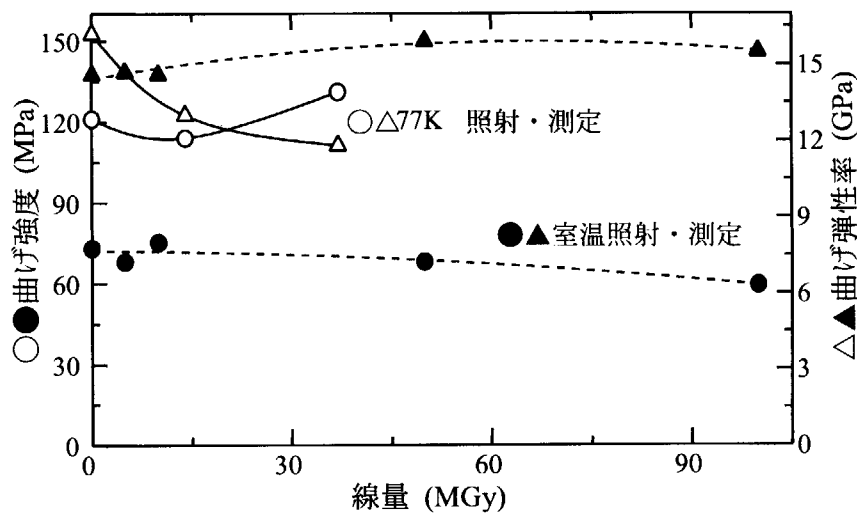
データシート No EPO-3

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON
SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC CERN 96-05 (1996)

材料名	エポキシ樹脂 XB 3192
分子データ	エポキシ、硬化剤 不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射; ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	73.1±5.4	0.53±0.1	14.6±0.3	121±5	0.8±0.0	16.2±1.4
5.0	68.1±8.5	0.48±0.1	14.7±0.1			
10.0	75.2±4.2	0.53±0.1	14.6±0.1			
14.0				114±17	1.0±0.1	13.0±1.3
37.0				131±9	1.2±0.0	11.8±1.2
50.0	68.1±4.3	0.42±0.00	15.9±0.4			
100.0	59.4±6.6	0.42±0.00	15.5±0.9			

Epoxy resin XB 3192 (Ciba-Geigy) 照射/測定温度依存性

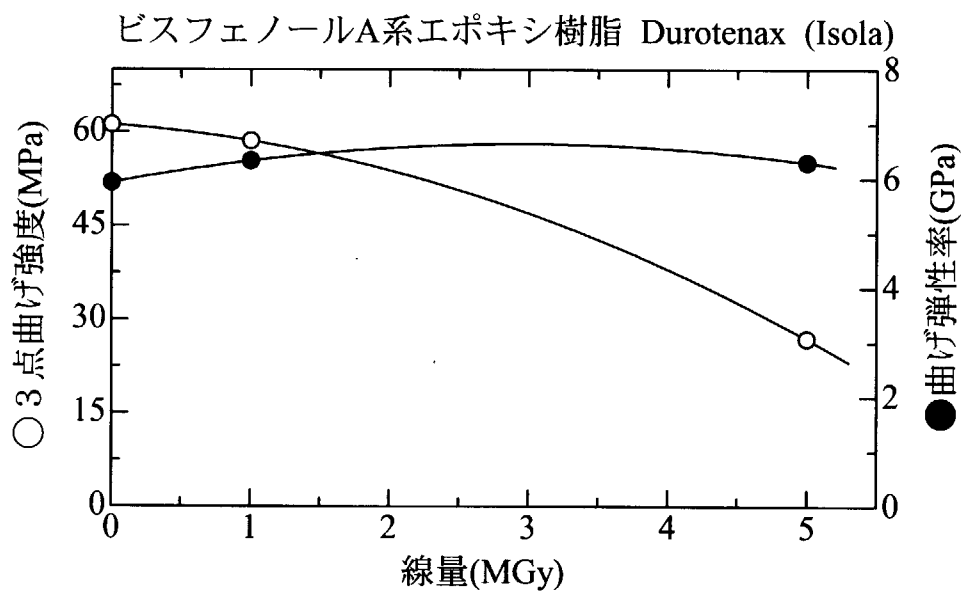


データシート No EPO-4

出典; COMILATION OF RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Durotenax
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola (CH)
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	61.2 ± 5.2	1.05 ± 0.09	5.93 ± 0.10
220	1.0	58.6 ± 7.3	0.88 ± 0.11	6.33 ± 0.17
220	5.0	26.9 ± 3.2	0.43 ± 0.04	6.30 ± 0.25



データシート No EPO-5

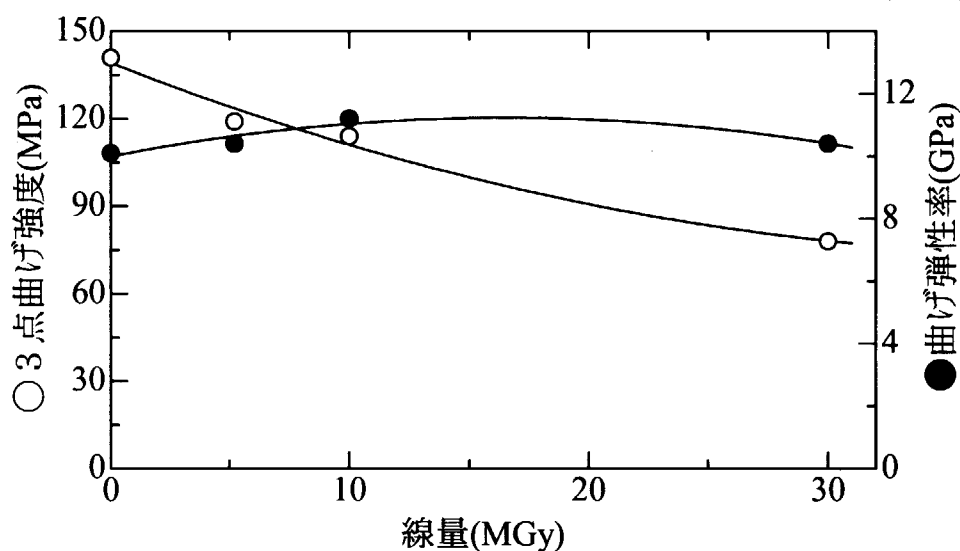
出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Durotenax Art. 521-02
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	141±8	1.58±0.11	10.1±0.6
220	5.2	119±4	1.24±0.05	10.4±0.6
220	10.0	114±3	1.1±0.1	11.2±0.5
220	30.0	78±2	0.79±0.02	10.4±0.4

ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Durotenax Art. 521-02 (Isola)



データシート No EPO-6

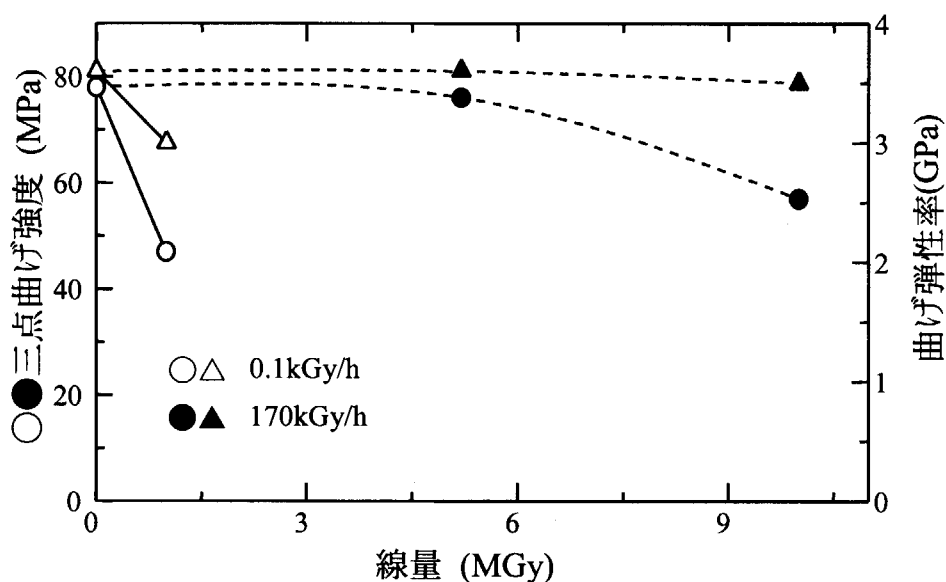
出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂
分子データ	ビスフェノールA系エポキシ + Methyl Hexahydrophthal Anhydride
主な用途	コイル絶縁
製作者	Elin Union
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria), Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	78 ± 22	2.2 ± 0.5	3.6 ± 0.5
0.1	1.0	47 ± 9	1.5 ± 0.2	3.0 ± 0.3
170	5.2	76 ± 15	2.2 ± 0.4	3.6 ± 0.2
170	10.0	57 ± 4	1.6 ± 0.1	3.5 ± 0.1

ビスフェノールA系エポキシ(Elin Union)



データシート No EPO-7

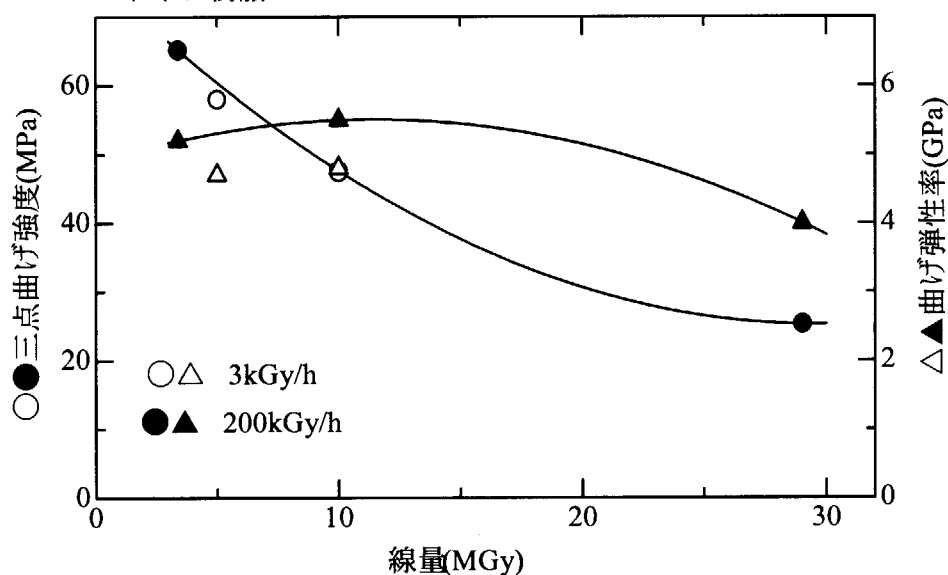
出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Scotchcast 281
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria), Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	32.9±0.6	>12	2.3±0.1
200	3.4	65.2±3.4	1.5±0.1	5.2±0.2
3	5.0	58.0±4.4	1.5±0.2	4.7±0.3
3	10.0	47.4±7.9	1.2±0.3	4.8±0.1
200	10.0	47.6±2.6	1.0±0.1	5.5±0.1
200	29.0	25.3±5.8	0.8±0.2	4.0±0.2

エポキシ樹脂 Scotchcast 281



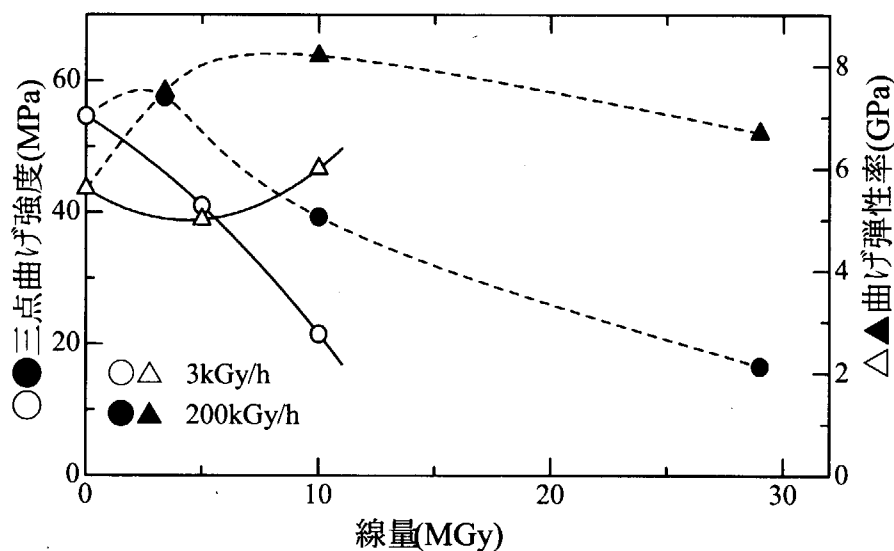
データシート No EPO-8

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	ビスフェノールA系エポキシ樹脂 Scotchcast 824
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria), Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	54.6 ± 3.1	1.53 ± 0.11	5.6 ± 0.6
200	3.4	57.5 ± 2.2	0.94 ± 0.03	7.5 ± 0.4
3	5.0	41.0 ± 3.4	1.2 ± 0.1	5 ± 0.3
3	10.0	21.5 ± 2.7	0.44 ± 0.03	6.0 ± 0.4
200	10.0	39.3 ± 10.6	0.6 ± 0.2	8.2 ± 0.6
200	29.0	16.6 ± 5.2	0.3 ± 0.1	6.7 ± 0.8

エポキシ樹脂 Scotchcast 824

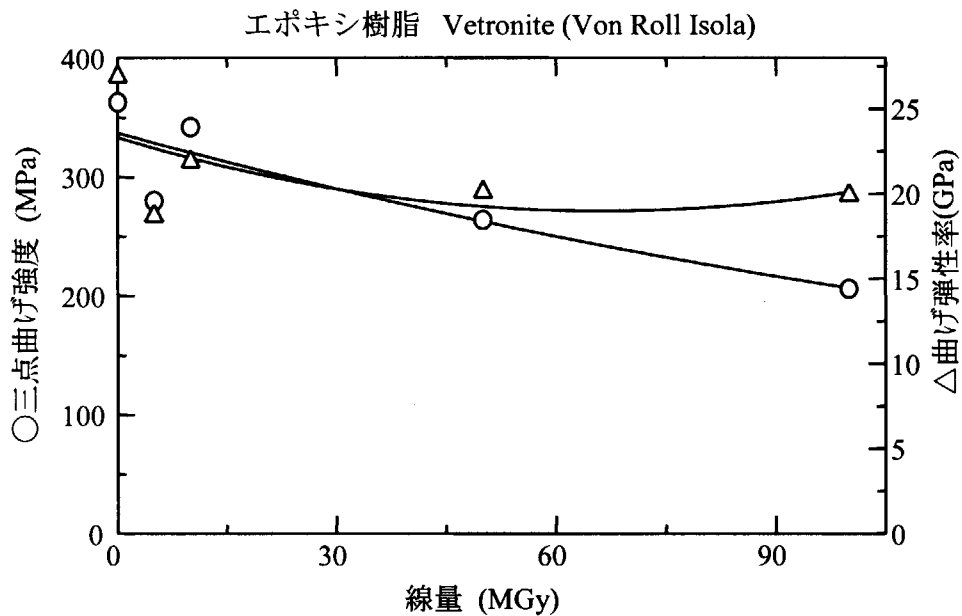


データシート No EPO-9

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	エポキシ樹脂 Vetronite
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	ガイドチューブ
製作者	Von Roll Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0	363 ± 33	2.10 ± 0.09	26.9 ± 1.3
220	5	280 ± 8	1.92 ± 0.06	18.7 ± 1.4
220	10	342 ± 20	1.90 ± 0.10	21.9 ± 0.3
230	50	264 ± 8	1.77 ± 0.08	20.1 ± 0.8
220	100	206 ± 20	1.13 ± 0.07	19.9 ± 1.3



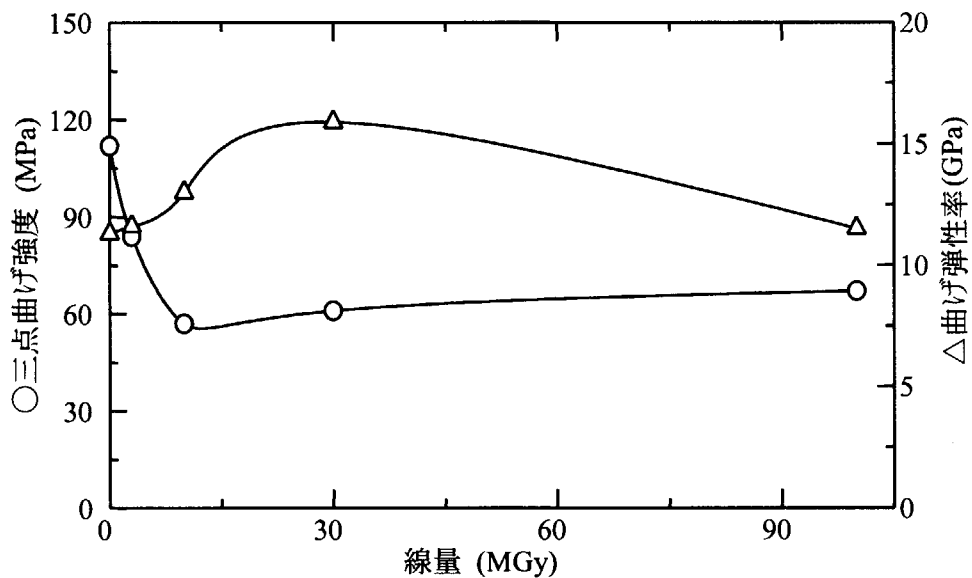
データシート No EPO-10

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	エポキシ樹脂 XNR 4153/XNH 4153
分子データ	DGEBA エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy(japan)
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0	112±3	1.18±0.07	11.3±0.3
220	3	84±3	0.81±0.04	11.6±0.5
220	10	57±3	0.48±0.03	13.0±0.6
230	30	61±2	0.44±0.01	15.9±0.9
220	100	67±2	0.46±0.01	11.5±0.8

エポキシ樹脂 XNR 4153/XNH 4153 (Ciba-Geigy(Japan))



データシート No EPO-11

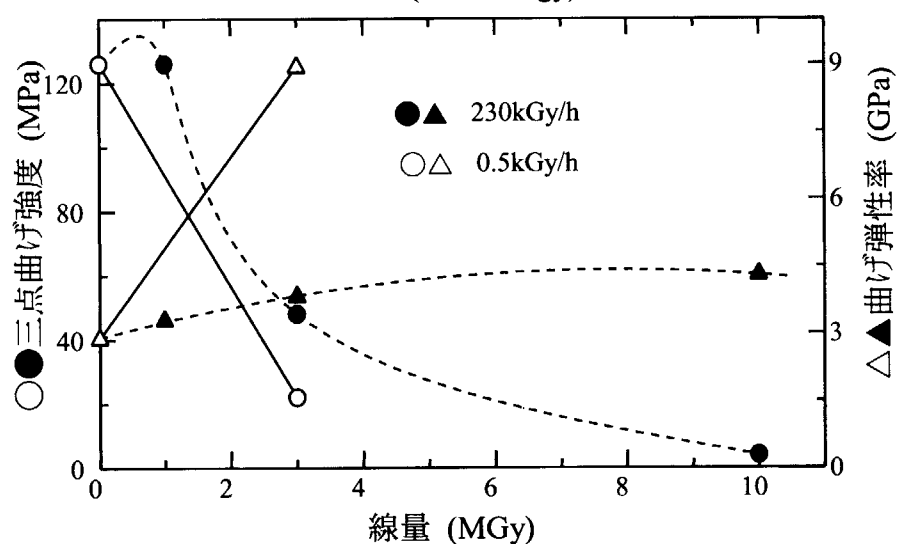
出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	エポキシ樹脂 AS/37-3 (Ciba-Geigy)
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria), Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	126±2.2	8.35±0.42	2.88±0.09
4	0.5	93±19.4	1.38±0.44	7.79±0.17
230	1.0	126±4.1	5.82±0.96	3.29±0.05
230	3.0	48±10.1	1.33±0.28	3.82±0.13
0.5	3.0	22±6.3	0.26±0.08	8.92±0.63
230	10.0	4±	0.26±	4.3±

エポキシ樹脂 (Ciba-Geigy) AS/37-3

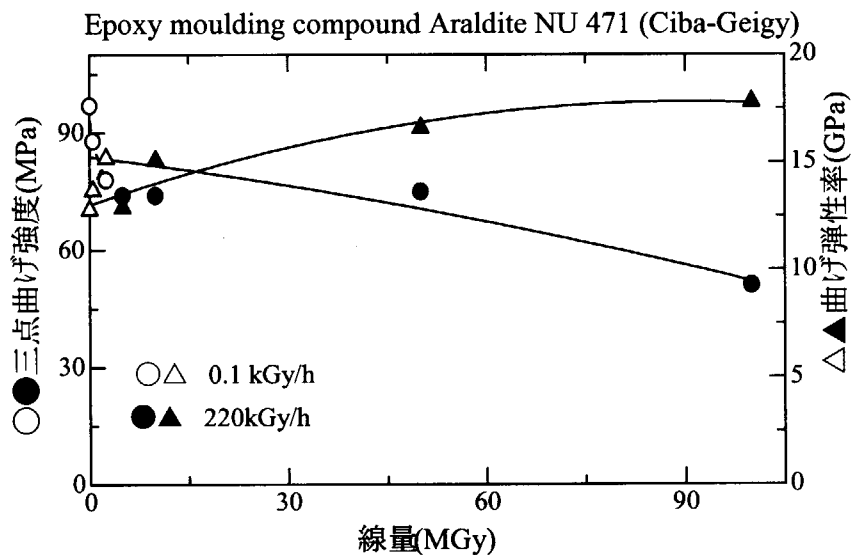


データシート No EM-3

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Araldite NU 471
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	モールディング
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria) Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	97 ± 3	0.96 ± 0.03	12.8 ± 0.3
0.1	0.5	88 ± 3	0.80 ± 0.04	13.7 ± 0.2
0.1	2.5	78 ± 1	0.63 ± 0.01	15.2 ± 0.7
220	5.0	74 ± 2	0.62 ± 0.02	12.9 ± 1.3
10	6.4	87 ± 2	0.72 ± 0.01	14.4 ± 0.1
220	10.0	74 ± 7	0.57 ± 0.08	15.1 ± 0.4
220	50.0	75 ± 3	0.51 ± 0.03	16.6 ± 0.3
220	100.0	51 ± 2	0.36 ± 0.02	17.8 ± 1.7

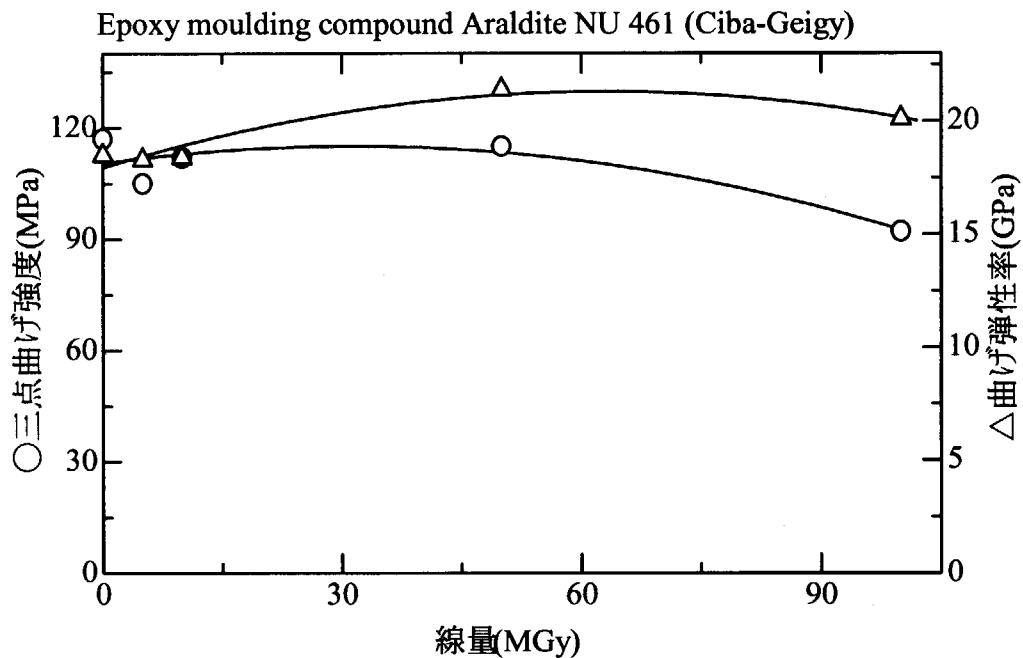


データシート No EM-2

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Araldite NU 461
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	モールディング
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	117 ± 5	0.90 ± 0.06	18.5 ± 0.7
220	5.0	105 ± 5	0.76 ± 0.04	18.3 ± 0.7
220	10.0	112 ± 8	0.77 ± 0.08	18.4 ± 0.4
220	50.0	115 ± 4	0.64 ± 0.03	21.4 ± 0.4
220	100.0	92 ± 10	0.50 ± 0.05	20.1 ± 1.1

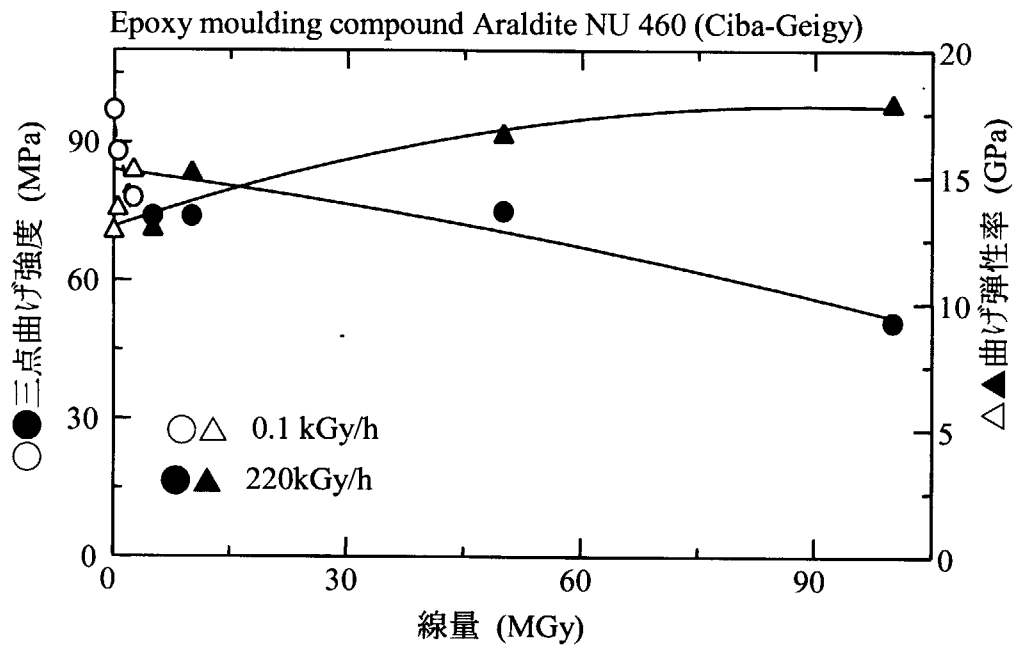


データシート No EM-1

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Araldite NU 460
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	モールディング
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	138 ± 9	1.04 ± 0.06	13.7 ± 6.8
220	5.0	49 ± 6	0.67 ± 0.03	9.9 ± 1.5
220	10.0	58 ± 3	0.73 ± 0.04	10.6 ± 0.6
220	50.0	32 ± 7	0.61 ± 0.06	6.3 ± 1.9

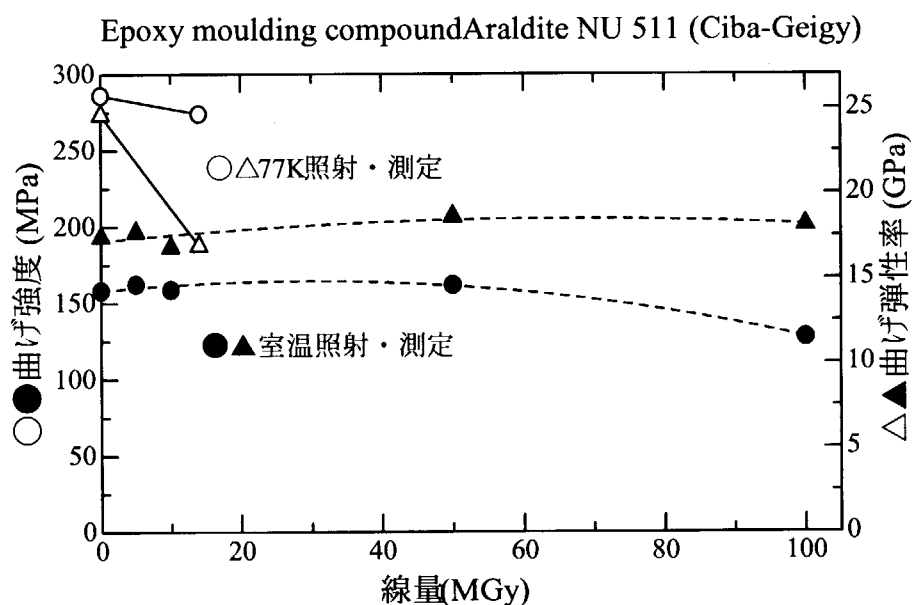


データシート No EM-4

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	Epoxy moulding compound Araldite NU 511
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	モールディング
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	77K照射:IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射:ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	158.3±19.9	1.08±0.1	17.4±0.6	286±12	1.4±0.1	24.6±0.9
5.0	162.5±7.7	1.06±0.06	17.7±0.4			
10.0	158.9±12.5	1.06±0.09	16.8±0.3			
14.0				274±16	1.7±0.1	16.9±1.6
50.0	161.9±6.6	0.94±0.03	18.6±0.7			
100.0	127.7±5.3	0.78±0.04	18.1±0.4			



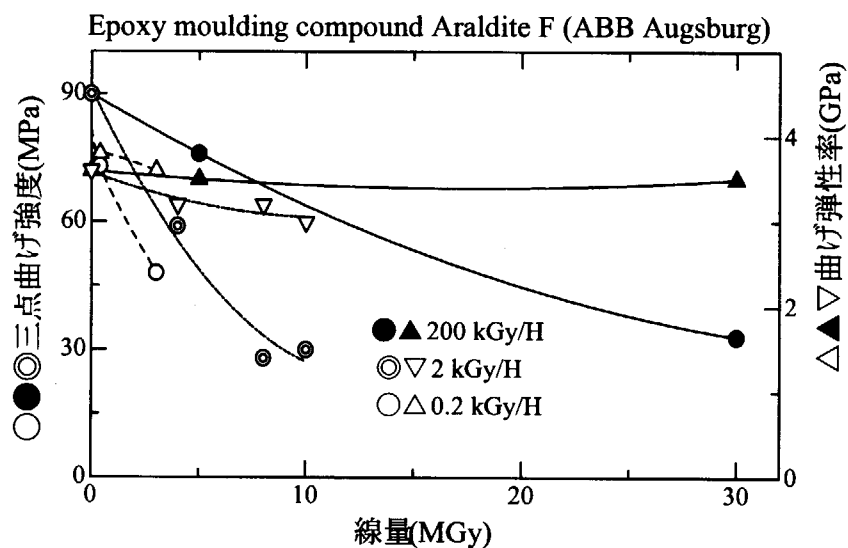
データシート No EM-5

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Araldite F
分子データ	CY 205 (unmodified epoxy resin based on Bisphenol A)
主な用途	LEP 4極磁石絶縁
製作者	ABB Augsburg
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria) Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	90±12	2.61±0.38	3.6±0.05
0.02	0.4	73±15	1.81±0.42	3.8±0.07
0.2	3.0	48±9	1.35±0.20	3.6±0.29
2	4.0	59±10	1.86±0.50	3.2±0.20
200	5.0	76±20	2.24±0.53	3.5±0.14
2	8.0	28±4	0.91±0.10	3.2±0.80
2	10.0	30±2	0.96±0.10	3.2±0.10
200	30.0	33±11	1.03±0.25	3.5±0.44



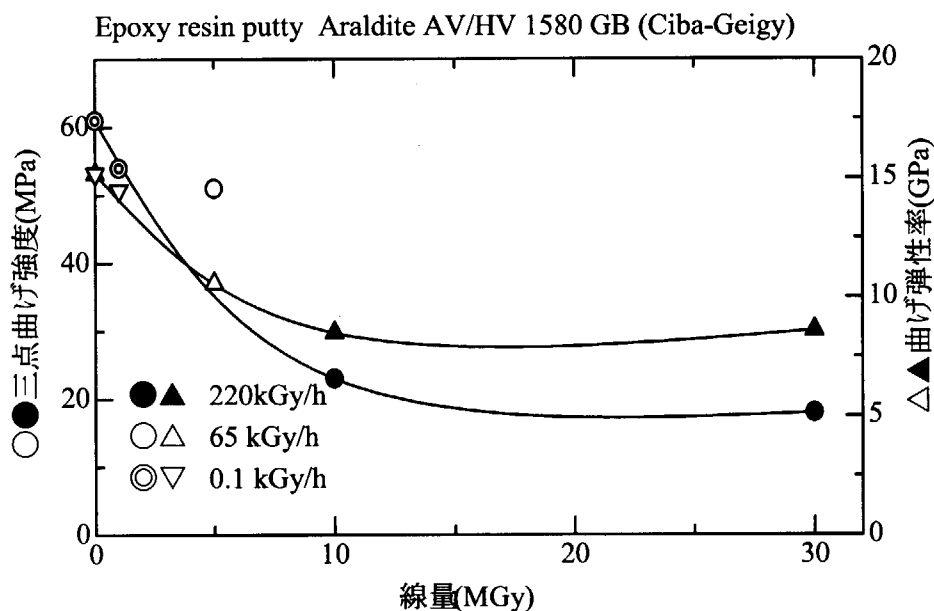
データシート No EM-6

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Araldite AV/HV 1580 GB
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	エポキシ樹脂パテ
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria) Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	61±2	0.53±0.04	15.2±0.3
0.1	1.0	54±3	0.50±0.01	14.5±0.9
65	5.0	51±7	0.45±0.04	10.6±2.5
240	10.0	23±3	0.31±0.02	8.5±0.8
240	30.0	18±2	0.25±0.03	8.6±1.2

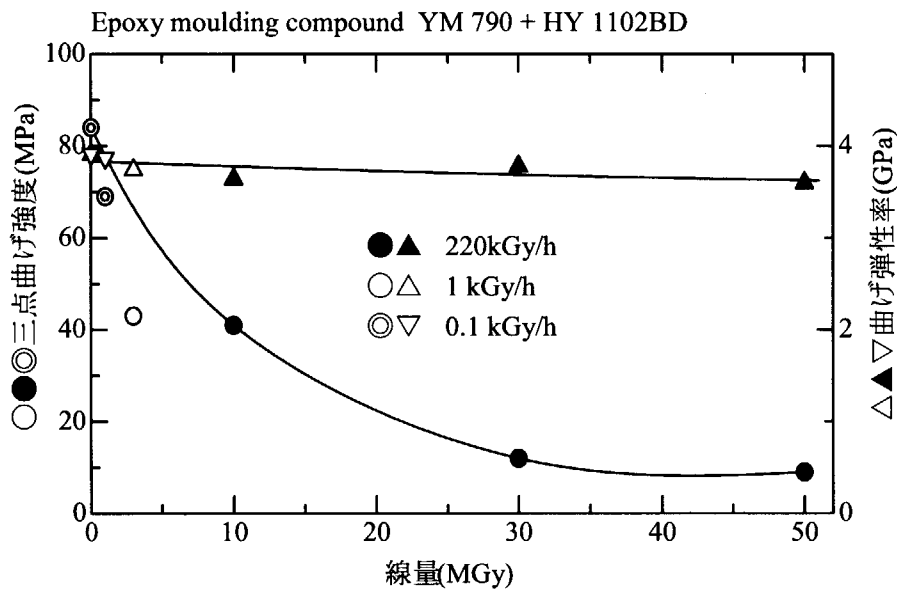


データシート No EM-7

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound
分子データ	YM 790(Bisphenol A based epoxy + HY 1102BD(acid anhydride))
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria) Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	84 ± 19	2.24 ± 0.56	3.91 ± 0.25
0.1	1.0	69 ± 15	1.82 ± 0.35	3.87 ± 0.04
1	3.0	43 ± 8	1.21 ± 0.23	3.74 ± 0.11
220	10.0	41 ± 9	1.16 ± 0.24	3.64 ± 0.08
220	30.0	12 ± 2	0.34 ± 0.05	3.78 ± 0.23
220	50.0	9 ± 3	0.25 ± 0.08	3.60 ± 0.40



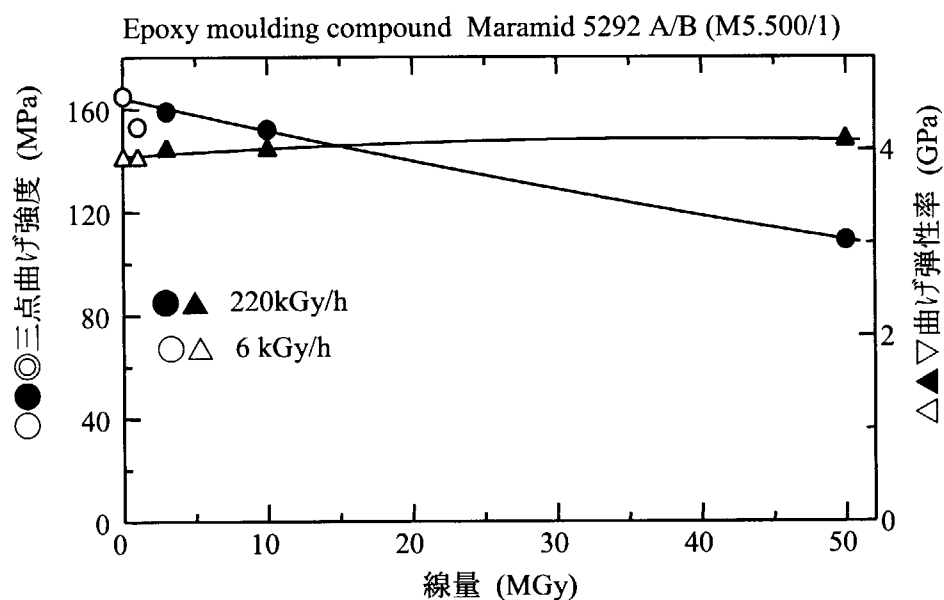
データシート No EM-8

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy moulding compound Maramid 5292 A/B(M5.500/1)
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria) Co-60 source at Ionisos in Dagneux(France)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	165 ± 3	6.27 ± 0.3	3.9 ± 0.06
6	1.0	153 ± 24	5.32 ± 1.4	3.9 ± 0.03
230	3.0	159 ± 8	5.83 ± 0.67	4.0 ± 0.04
230	10.0	152 ± 16	5.61 ± 0.97	4.0 ± 0.17
180	50.0	109 ± 21	2.80 ± 0.6	4.1 ± 0.19



6. CERNデータ-2 GFRP, CFRP

前項では、CERNのEuropean Organization for Nuclear Researchの加速器周辺で実使用されているエポキシ樹脂及びエポキシモールドイング材料に関する耐放射線性データをまとめた。

この項では、主に電磁石の絶縁材料に使用されているガラス繊維強化プラスチック(GFRP)、エポキシ含浸ガラステープ及び構造材料として使われている炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に関する1996と1998年の報告から重要と思われる材料を選択して掲載する。

放射線源は前項5と同様に原子炉とCo-60 γ 線源である。原子炉照射は、FRPについても、 γ 線照射と同等と考えて良いが、硼素を含有しているガラス繊維を使用している場合には、熱中性子による核反応で生じる反跳粒子がガラス繊維に損傷を与えるため注意を要する。

エポキシ樹脂の場合と同じく、加速器施設での実使用材料であるため、定番化された材料が対象となっている。また、耐放射線性だけを追求したマトリックス樹脂の選定ではなく、施工上の制約、例えば硬化までの時間や成形温度をも考慮した選択が行われている。

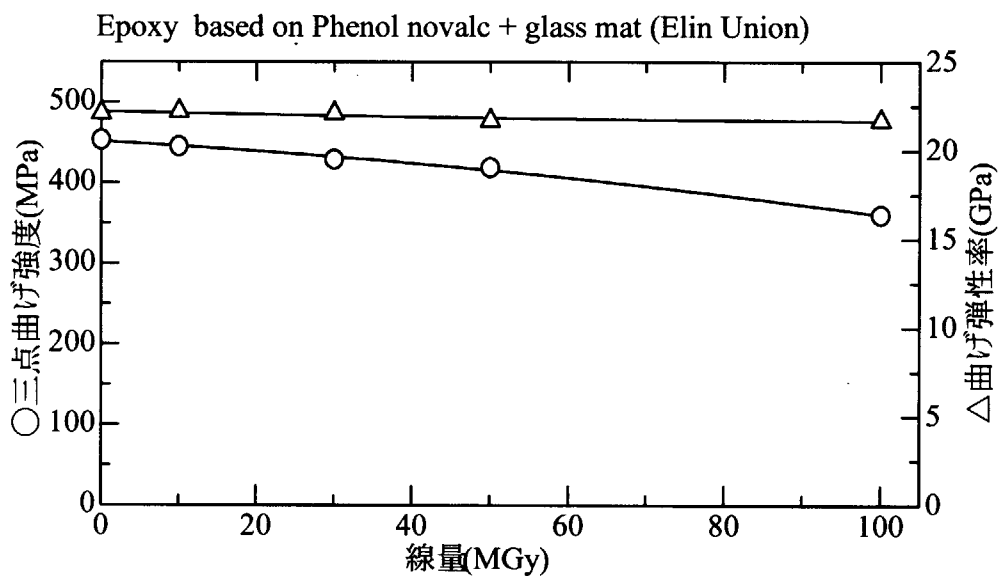
マトリックス樹脂の分子構造については、前項「5. エポキシ樹脂分子構造」のページに記載した。

データシート No GFRP-1

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy + glass mat
分子データ	Epoxy based on Phenol novolac (EPN 1138, Ciba-Geigy)
主な用途	LEP 4極磁石絶縁
製作者	Elin Union
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	453 ± 15	2.3 ± 0.1	22.1 ± 0.42
220	10.0	445 ± 13	2.24 ± 0.06	22.2 ± 0.45
220	30.0	429 ± 25	2.27 ± 0.07	22.1 ± 0.42
220	50.0	419 ± 25	2.30 ± 0.11	21.7 ± 0.3
220	100.0	360 ± 26	2.05 ± 0.21	21.7 ± 0.59

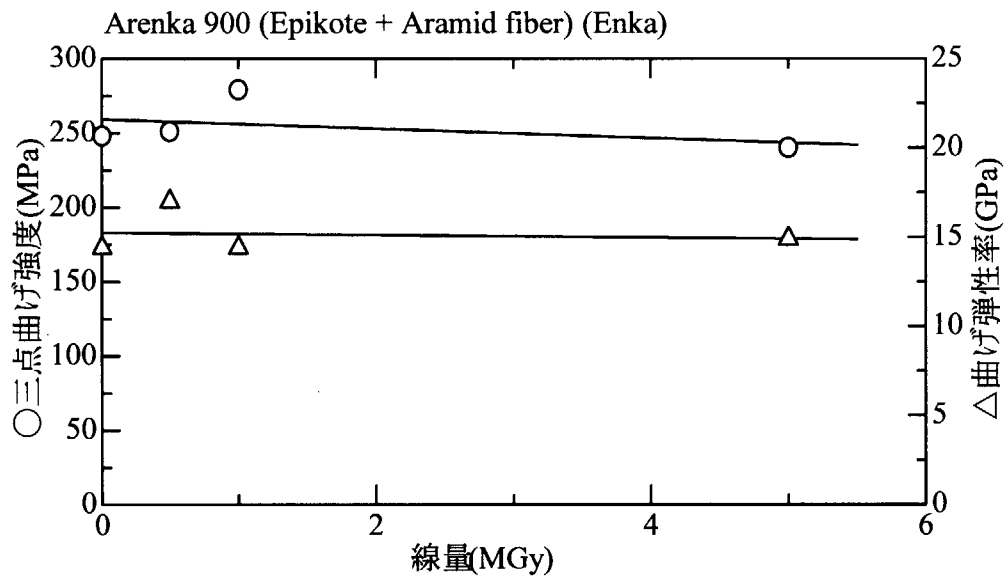


データシート No GFRP-2

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epikote + Aramid fiber Arenka 900 (Enka)
分子データ	Phenol novolac type epoxy
主な用途	コイル絶縁
製作者	Enka
形状	厚さ 2~6mm,
照射条件	ASTRA 7 MW pool reactor (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	248 ± 35	3.79 ± 0.8	14.4 ± 3.7
220	0.5	251 ± 84	2.93 ± 0.64	17.0 ± 4.6
220	1.0	279 ± 33	3.86 ± 0.71	14.4 ± 2.7
220	5.0	240 ± 34	3.04 ± 0.34	14.9 ± 1.7

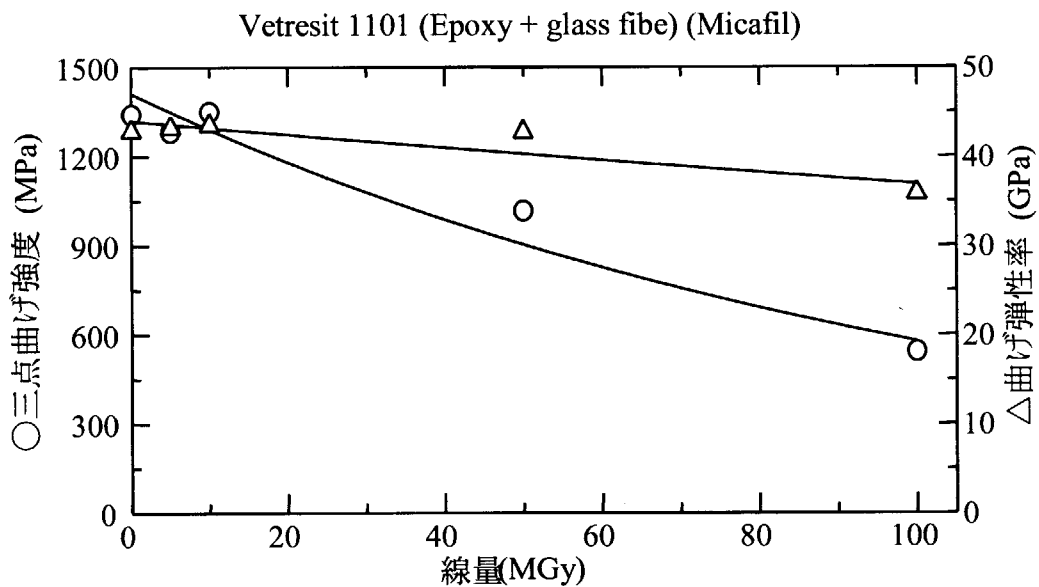


データシート No GFRP-3

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
 Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy + glass fiber Vetresit 1101
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Micafil
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	1342 ± 61	3.20 ± 0.14	42.8 ± 0.9
170	5.0	1282 ± 74	3.10 ± 0.18	43.2 ± 1.1
170	10.0	1351 ± 53	3.17 ± 0.26	43.5 ± 0.9
170	50.0	1017 ± 65	3.44 ± 0.29	42.7 ± 1.6
170	100.0	543 ± 132	2.18 ± 0.32	35.8 ± 3.8



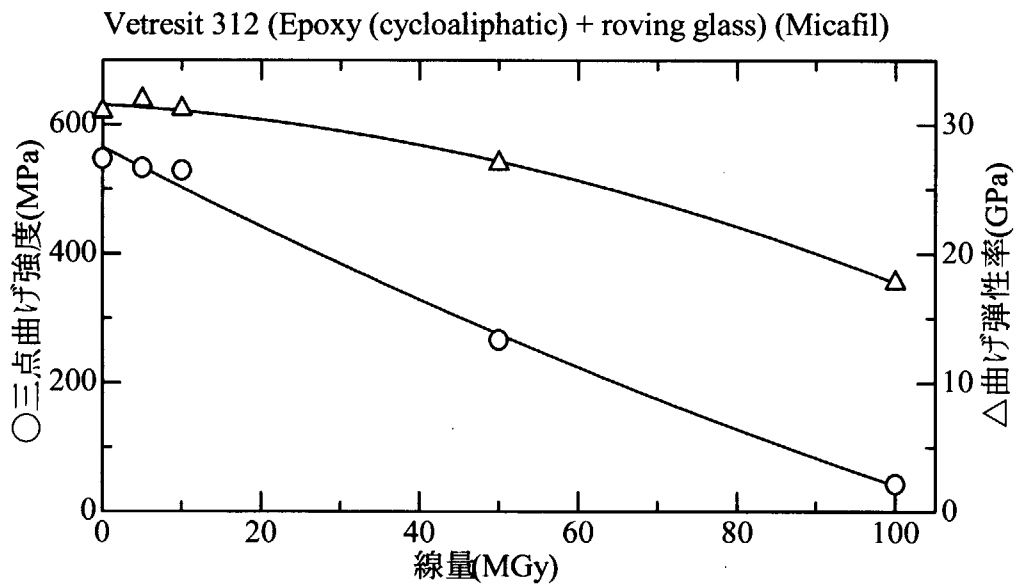
データシート No GFRP-4

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)

Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy (cycloaliphatic) + roving glass "Vetresit 312"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Micafil
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	547 ± 26	1.88 ± 0.13	31.0 ± 1.7
170	5.0	533 ± 26	1.83 ± 0.16	31.9 ± 1.5
170	10.0	529 ± 33	1.94 ± 0.17	31.2 ± 0.8
170	50.0	266 ± 21	1.08 ± 0.08	27.0 ± 1.5
170	100.0	43 ± 7	0.56 ± 0.26	17.8 ± 1.8

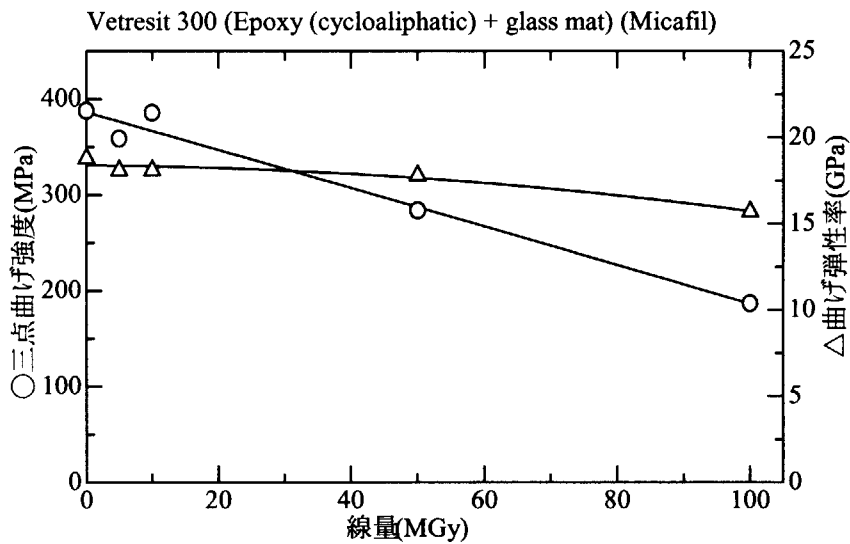


データシート No GFRP-5

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
 Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy (cycloaliphatic) + glass mat
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	コイル絶縁
製作者	Micafil
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	388 ± 11	2.33 ± 0.06	18.8 ± 0.4
170	5.0	359 ± 18	2.29 ± 0.14	18.1 ± 1
170	10.0	386 ± 21	2.47 ± 0.13	18.1 ± 1
170	50.0	284 ± 12	2.06 ± 0.05	17.8 ± 0.5
170	100.0	187 ± 7	1.48 ± 0.25	15.7 ± 1.1

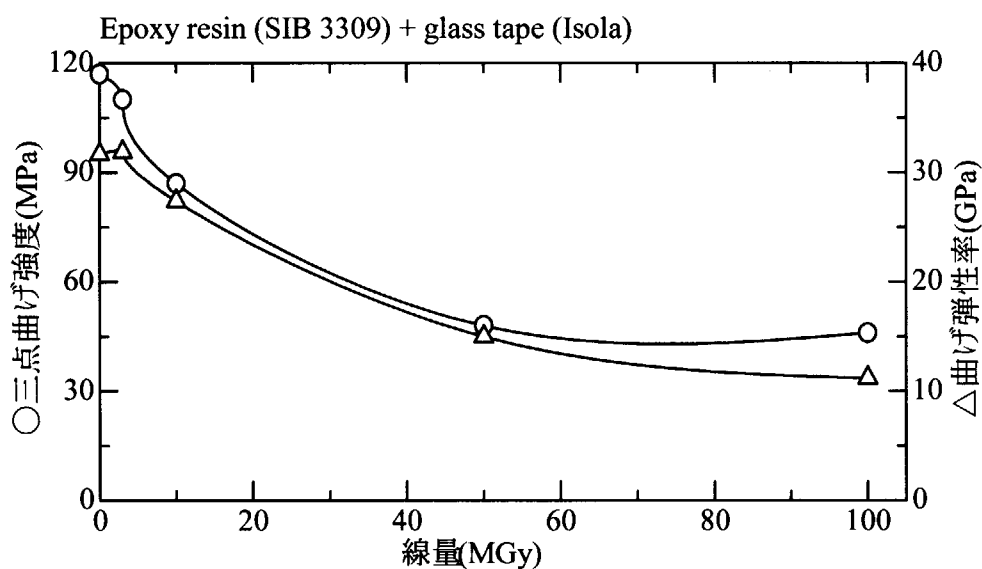


データシート No GFRP-6

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy resin + glass tape
分子データ	Epoxy based on Phenol novolac (EPN 1138, Ciba-Geigy), tape; Samicapor 326.95-47X
主な用途	LEP-QP絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	117 ± 8	0.54 ± 0.08	31.7 ± 1.6
220	3.0	110 ± 6	0.49 ± 0.07	31.9 ± 2.1
220	10.0	87 ± 21	0.42 ± 0.06	27.4 ± 6.1
220	50.0	48 ± 12	0.50 ± 0.1	15.0 ± 2.5
220	100.0	46 ± 6	0.75 ± 0.06	11.2 ± 1.9

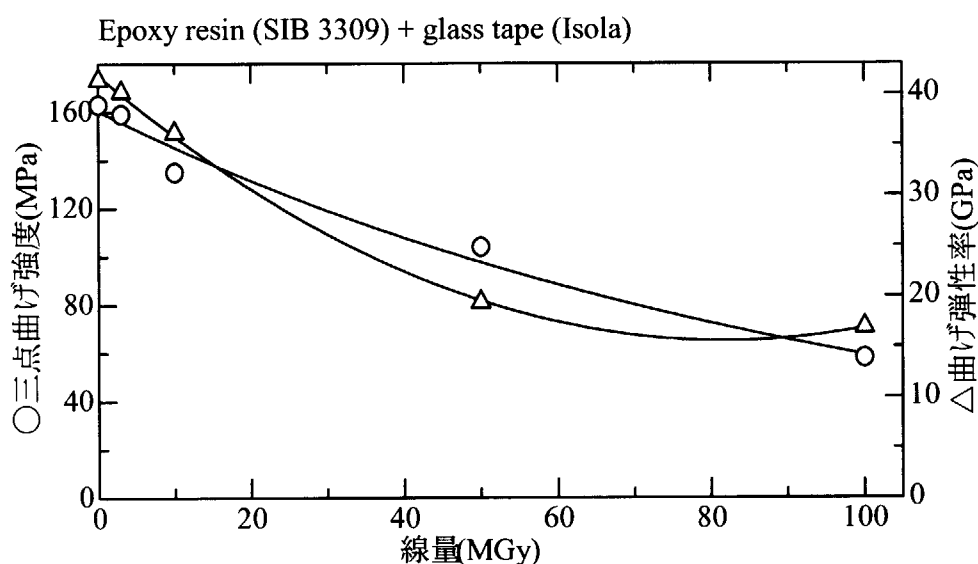


データシート No GFRP-7

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy resin + glass tape
分子データ	Epoxy based on Phenol novalc (EPN 1138, Ciba-Geigy) tape; Samicapor 326.96-86X
主な用途	コイル絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	163±11.2	0.52±0.08	41.4±1.7
220	3.0	159±13.5	0.51±0.05	40.2±2.2
220	10.0	135±13	0.52±0.07	36.2±1.8
220	50.0	104±10.0	0.69±0.05	19.4±5.8
220	100.0	58±3.0	0.58±0.15	16.9±2.5

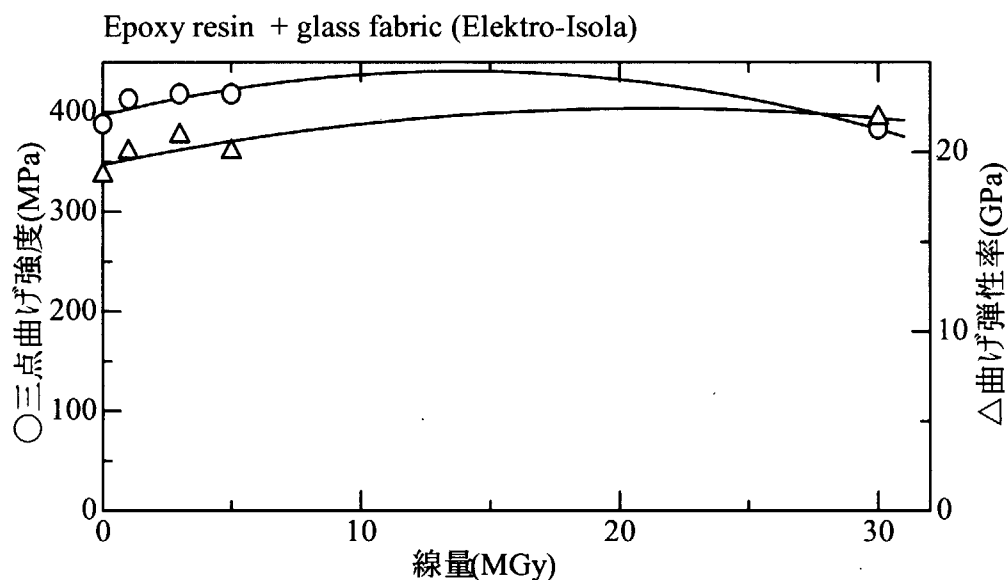


データシート No GFRP-8

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy resin + glass fabric "G-Ektronax EP 11"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	LEP DP 絶縁
製作者	Elektro-Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	388 ± 23	2.28 ± 0.11	18.7 ± 0.5
220	1.0	413 ± 31	2.34 ± 0.16	20.0 ± 1.0
220	3.0	418 ± 21	2.35 ± 0.12	20.9 ± 1.8
220	5.0	418 ± 30	2.34 ± 0.08	20.0 ± 1.0
220	30.0	383 ± 11	2.2 ± 0.1	21.9 ± 0.9

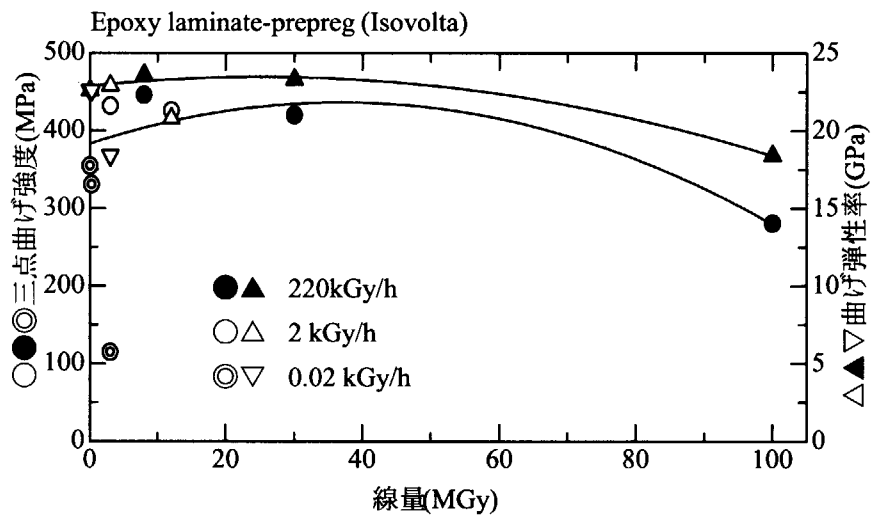


データシート No GFRP-9

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
 Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy laminate-prepreg "Isopreg EP spess 0.33"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	LEP DP 絶縁
製作者	Isovolta
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	355±28	1.79±0.05	22.6±2.3
0.02	0.25	331±16	1.99±0.03	22.6±1.1
0.02	3.0	115±28	0.54±0.15	18.4±1.0
2	3.0	432±21	2.09±0.05	22.9±0.4
220	8.0	446±25	2.11±0.02	23.6±1.4
2	12.0	426±34	2.18±0.05	20.8±2.2
220	30.0	420±25	2.03±0.04	23.3±1.6
220	100.0	281±9	1.72±0.08	18.4±0.7

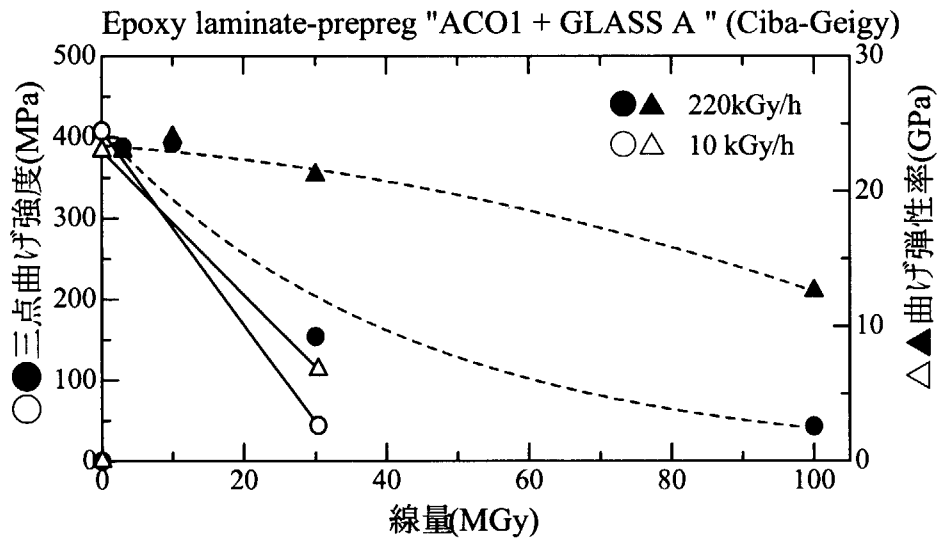


データシート No GFRP-10

出典: COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy laminate-prepreg
分子データ	ACO1 + GLASS A
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	408 ± 15	1.96 ± 0.04	23 ± 1.1
220	3.0	388 ± 11	2.06 ± 0.24	23 ± 0.9
220	10.0	393 ± 13	2.02 ± 0.07	24 ± 0.9
220	30.0	154 ± 8	0.92 ± 0.03	21.2 ± 2.1
10	30.4	44 ± 4	0.73 ± 0.04	6.8 ± 0.4
220	100.0	43 ± 11	0.45 ± 0.07	12.6 ± 3.4

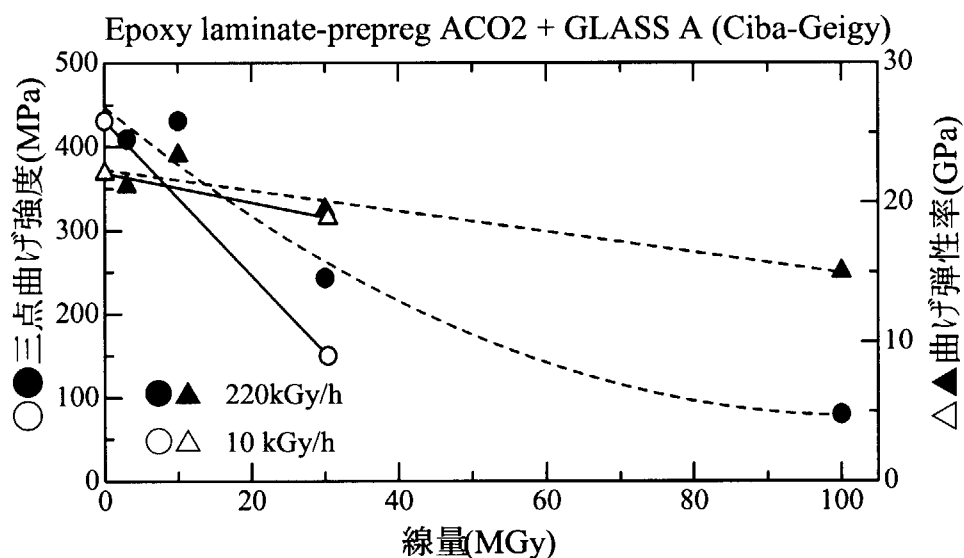


データシート No GFRP-11

出典: COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
 Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy laminate-prepreg (Ciba-Geigy)
分子データ	ACO2 + GLASS A
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	431 ± 25	2.47 ± 0.12	22.1 ± 1.78
220	3.0	409 ± 18	2.50 ± 0.24	21.2 ± 1.78
220	10.0	431 ± 10	2.11 ± 0.13	23.4 ± 1.6
220	30.0	243 ± 23	1.66 ± 0.13	19.5 ± 2.07
10	30.4	150 ± 14	0.87 ± 0.17	18.9 ± 1.92
220	100.0	80 ± 16	0.81 ± 0.10	15.0 ± 3.03

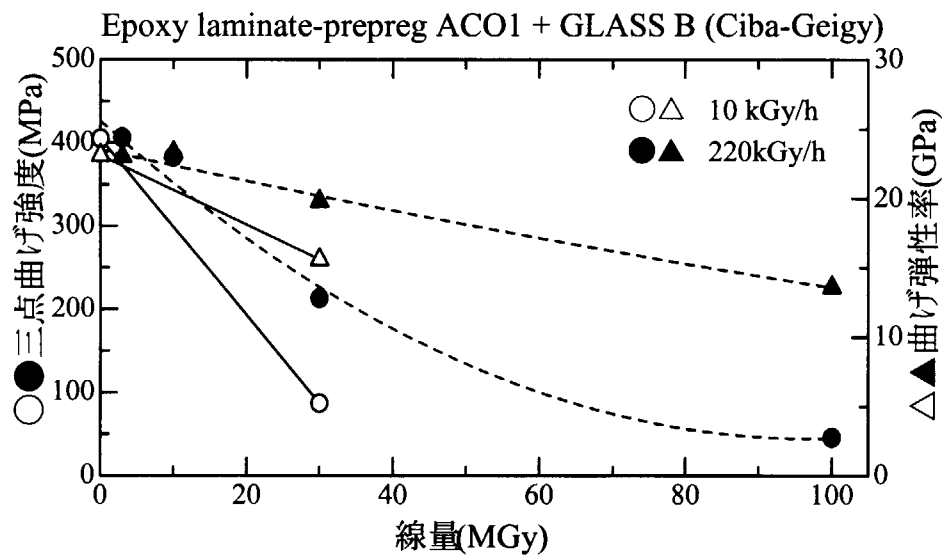


データシート No GFRP-12

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy laminate-prepreg
分子データ	ACO1 + GLASS B
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	405 ± 1.8	2.05 ± 0.10	23.1 ± 0.7
220	3.0	406 ± 19.9	2.06 ± 0.22	23.0 ± 0.9
220	10.0	383 ± 20.2	1.83 ± 0.12	23.3 ± 0.9
220	30.0	213 ± 11.8	1.52 ± 0.15	19.8 ± 0.7
10	30.0	87 ± 3.1	0.61 ± 0.08	15.6 ± 0.6
220	100.0	46 ± 9.0	0.41 ± 0.06	13.6 ± 1.9

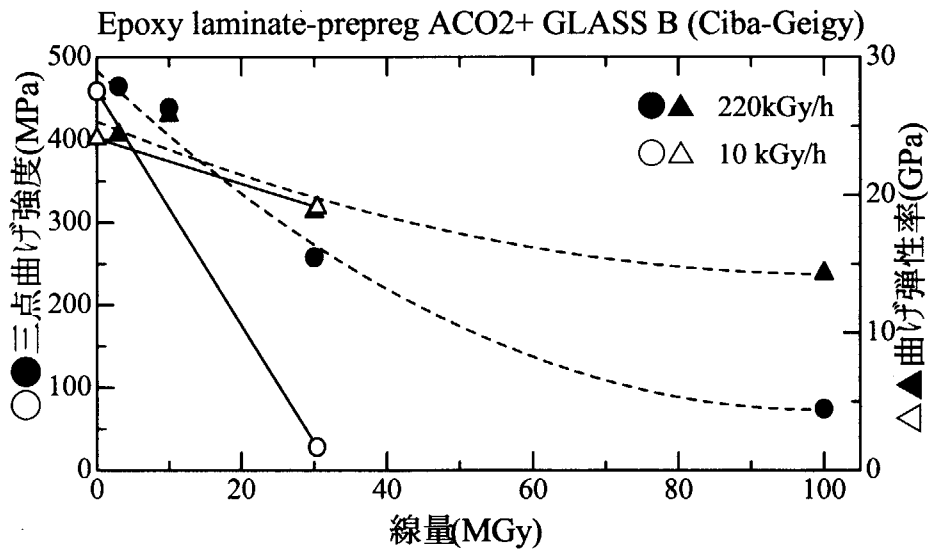


データシート No GFRP-13

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy laminate-prepreg
分子データ	ACO2+ GLASS B
主な用途	コイル絶縁
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	459±28	2.06±0.13	24.1±1.6
220	3.0	465±19	2.09±0.15	24.4±0.5
220	10.0	439±29	2.09±0.06	25.8±0.9
220	30.0	258±7	1.84±0.06	18.8±0.7
10	30.4	28.2±0.4	0.77±0.08	19.1±0.3
220	100.0	74.4±5	0.75±0.10	14.3±1.3



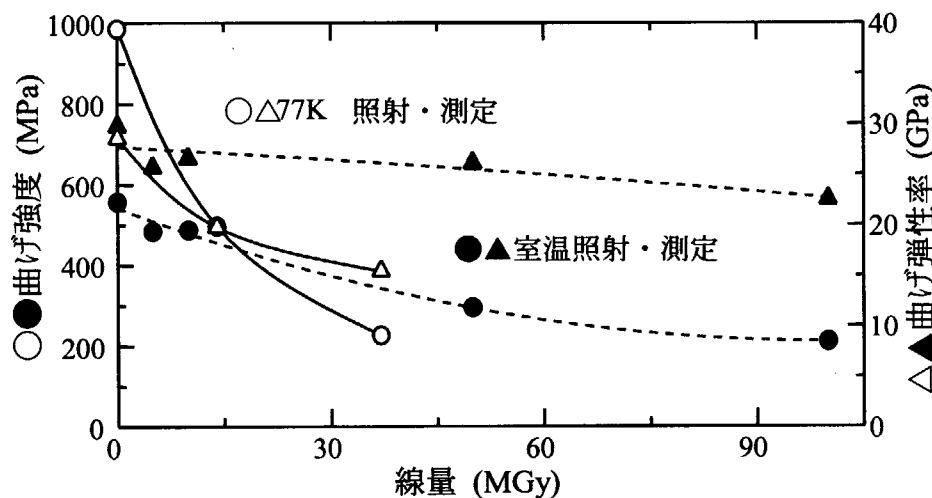
データシート No GFRP-14

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	Epoxy-GF Prepreg "Vtronite Epoxy G11"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	LHC magnet 絶縁
製作者	von Roll Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	557 ± 23	2.5 ± 0.1	29.8 ± 8.8	986 ± 2	7.2 ± 0.0	28.6 ± 0.2
5.0	484 ± 16	2.2 ± 0.2	25.7 ± 0.9			
10.0	488 ± 24	2.0 ± 0.1	26.6 ± 0.6			
14.0				497 ± 52	2.6 ± 0.2	19.8 ± 0.8
37.0				226 ± 32	1.4 ± 0.2	15.4 ± 1.3
50.0	295 ± 22	1.4 ± 0.1	26.1 ± 0.5			
100.0	211 ± 20	1.1 ± 0.1	22.5 ± 1.3			

Prepreg Vtronite Epoxy G11 (von Roll Isola)照射/測定温度依存性



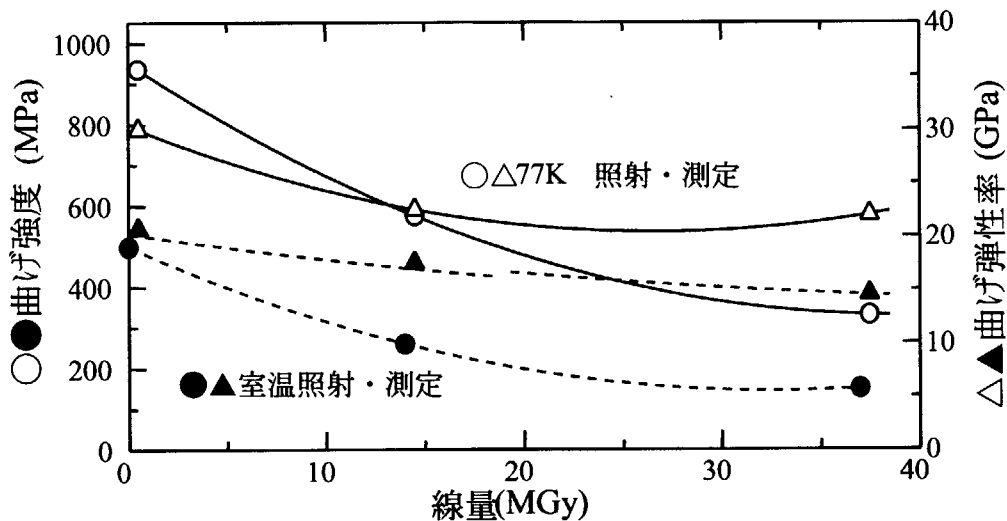
データシート No GFRP-15

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	Epoxy-GF Prepreg "Vetronite"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	LHC magnet 絶縁
製作者	Isola
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russi) RT照射: ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	499±9	2.9±0.1	20.2±0.2	923±27	5.2±1.1	29.5±4.4
14.0	260±50	2.0±0.4	17.0±3.0	563±7	3.0±0.2	22.0±1.0
37.0	150±30	1.5±0.3	14.0±3.0	318±16	1.8±0.2	21.5±1.6

Prepreg Vetronite (Isola) 照射/測定温度依存性



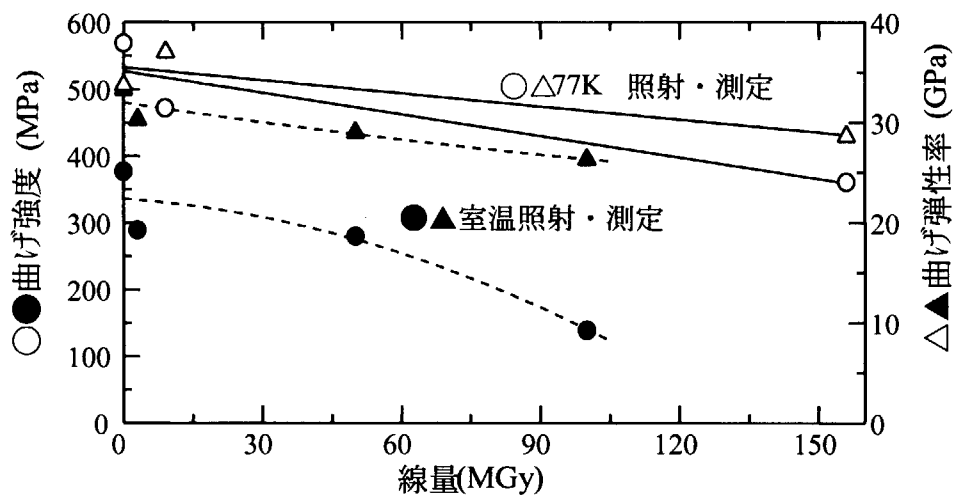
データシート No KFRP-1

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC, CERN 96-05 (1996)

材料名	Epoxy + GF + Kevlar Prepreg
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	LHC magnet 絶縁
製作者	Isovolta
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン: 67mm, クロスヘッドスピード: 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	377 ± 9	2.05 ± 0.02	33.3 ± 1.4	569 ± 21	2.7 ± 0.2	33.7 ± 0.5
3.0	289 ± 8	1.62 ± 0.07	30.3 ± 0.8			
9.0				472 ± 27	1.6 ± 0.1	37.0 ± 1.7
50.0	280 ± 5	1.58 ± 0.06	29.0 ± 1.0			
100.0	139 ± 42	1.68 ± 1.92	26.3 ± 3.9			
156.0				361 ± 17	1.4 ± 0.2	28.6 ± 1.2

Prepreg Epoxy + GF + Kevlar (Isovolta) 照射/測定温度依存性

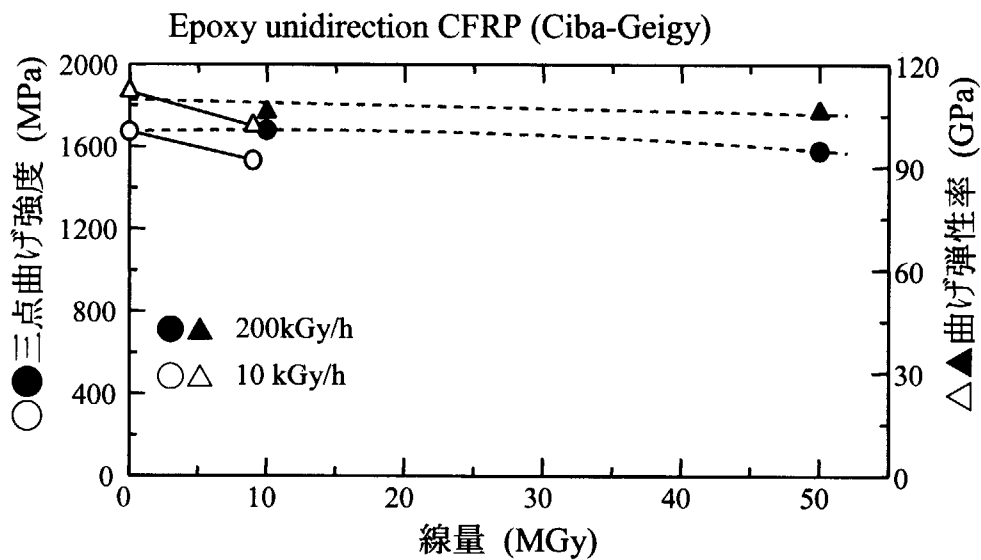


データシート No CFRP-1

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy CFRP (MY 720/HT 978+67.8% fiber) unidirection
分子データ	Modified epoxy resin based on Bisphenol A (YM 720) + Acid anhydride hardener (HY 978)
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	1674 ± 134	1.54 ± 0.05	112 ± 3
10	9.0	1535 ± 94	1.50 ± 0.06	102 ± 8
200	10.0	1681 ± 122	1.65 ± 0.06	106 ± 2
200	50.0	1579 ± 76	1.56 ± 0.06	106 ± 1

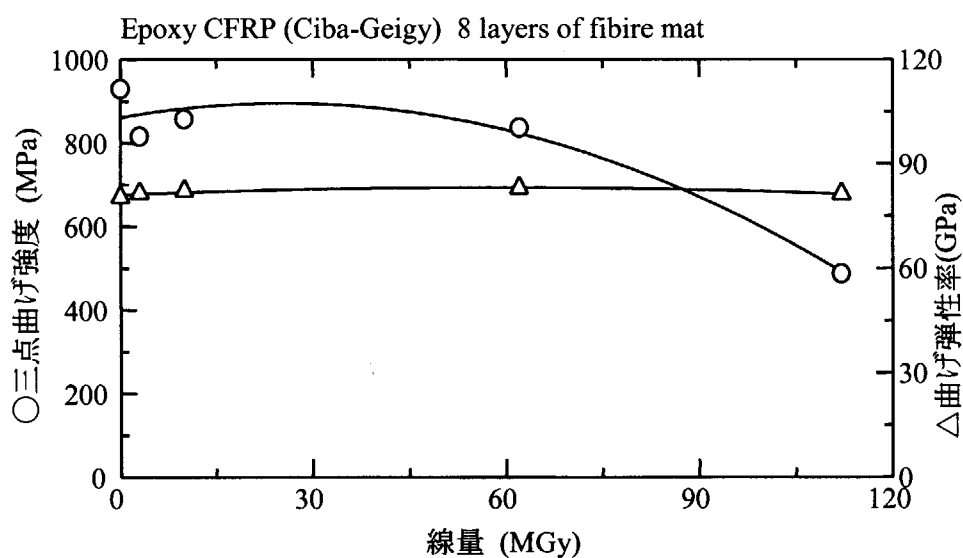


データシート No CFRP-2

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy CFRP (Ciba-Geigy) 8 layers of fiber mat
分子データ	Modified epoxy resin based on Bisphenol A (LY 556) + Acid anhydride hardener(HY 917)
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	929±187	1.17±0.23	80.5±2.6
230	3.0	816±99	0.97±0.16	81.5±2.1
230	10.0	857±114	1.06±0.13	82.2±1.4
230	62.0	837±90	1.02±0.12	83.0±1.2
230	112.0	487±29	0.64±0.05	81.3±3.9

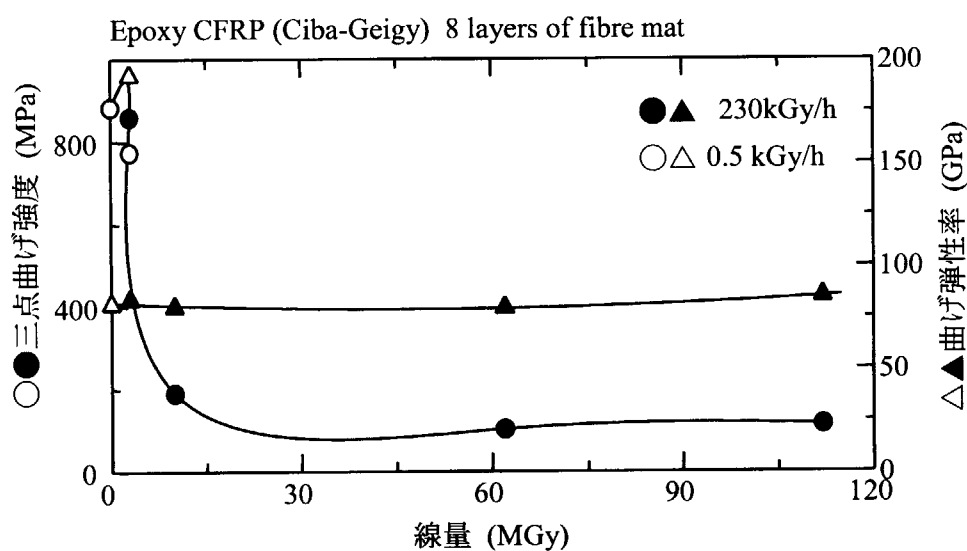


データシート No CFRP-3

出典: COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy CFRP 8 layers of fiber mat
分子データ	Modified epoxy resin based on Bisphenol A (LY 556) + Acid anhydride hardener(HY 2954)
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria).
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	884 ± 98	1.10 ± 0.12	81.1 ± 1.0
230	3.0	860 ± 99	1.05 ± 0.11	83.3 ± 2.0
0.5	3.0	774 ± 113	0.39 ± 0.06	192 ± 17
230	10.0	190 ± 26	0.29 ± 0.03	79.7 ± 8.3
230	62.0	102 ± 5	0.18 ± 0.01	79.3 ± 1.1
230	112.0	114 ± 8	0.17 ± 0.02	84.9 ± 2.4

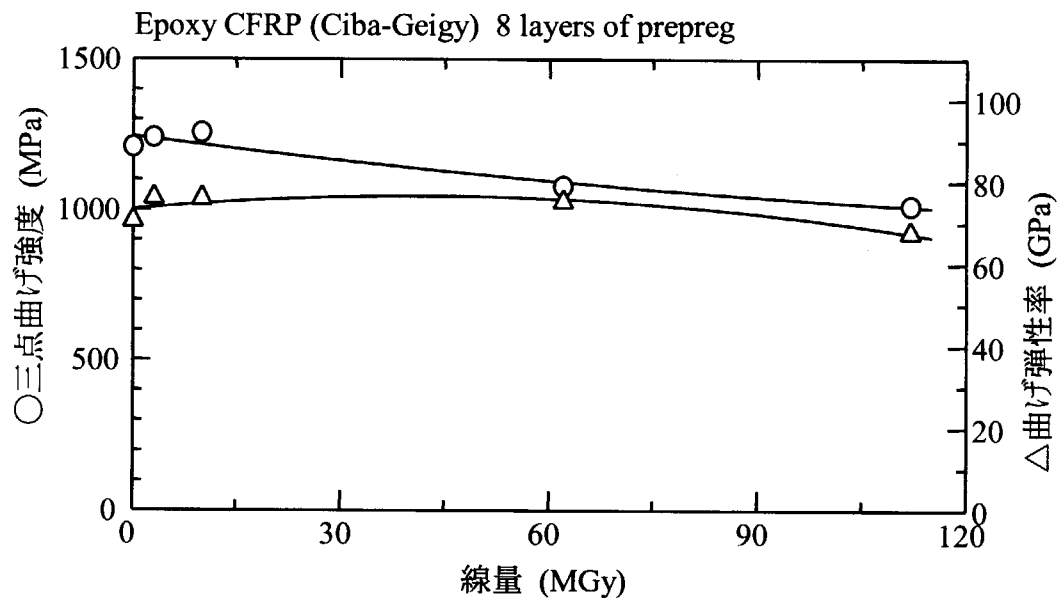


データシート No CFRP-4

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy CFRP (Ciba-Geigy) 8 layers of Prepreg "Fiberdux 91"
分子データ	4c-TS(6K)-5-34%Epoxy
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	1208 ± 35	1.80 ± 0.04	70.5 ± 0.2
230	3.0	1239 ± 42	1.68 ± 0.09	76.1 ± 2.0
230	10.0	1255 ± 82	1.75 ± 0.12	75.9 ± 2.5
230	62.0	1077 ± 275	1.47 ± 0.22	75.2 ± 3.2
230	112.0	1013 ± 192	1.56 ± 0.31	67.6 ± 4.4

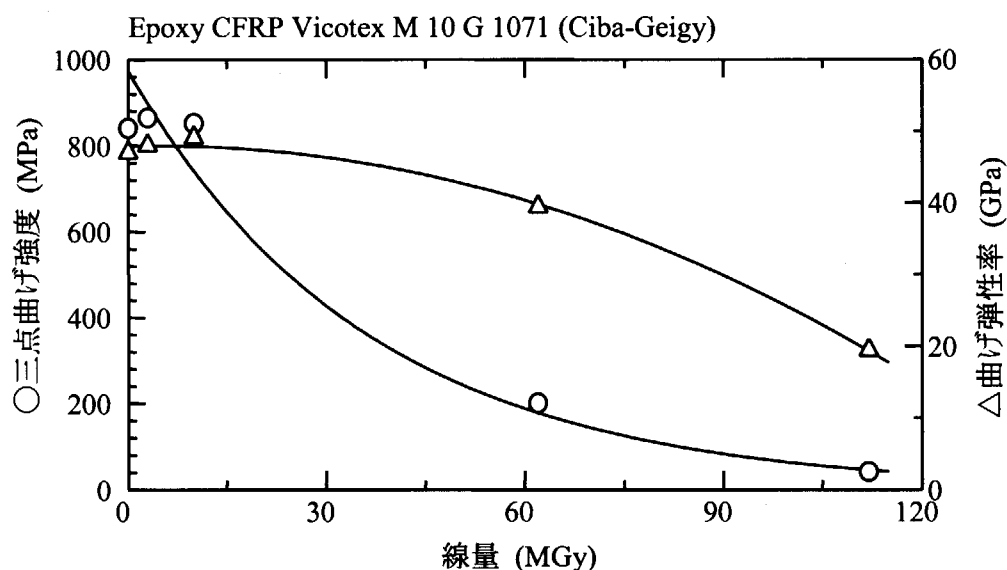


データシート No CFRP-5

出典; COMILATION of RADIATION DAMAGE TEST DATA, PART II, CERN (1998)
Thermoset and thermoplastic resins, composite materials

材料名	Epoxy CFRP "Vicotex M 10 G 1071"
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria),
測定	3点曲げ試験(スパン;67mm, クロスヘッドスピード;2mm/min)

線量率 (kGy/h)	線量 MGy	曲げ強度 MPa	変位 %	曲げ弾性率 GPa
0	0.0	841 ± 31	1.93 ± 0.06	47.0 ± 1.0
230	3.0	865 ± 36	1.93 ± 0.05	48.0 ± 1.4
230	10.0	852 ± 32	1.83 ± 0.06	49.1 ± 1.6
230	62.0	201 ± 71	0.66 ± 0.26	39.4 ± 12
230	112.0	42 ± 10	0.33 ± 0.15	19.4 ± 4.8

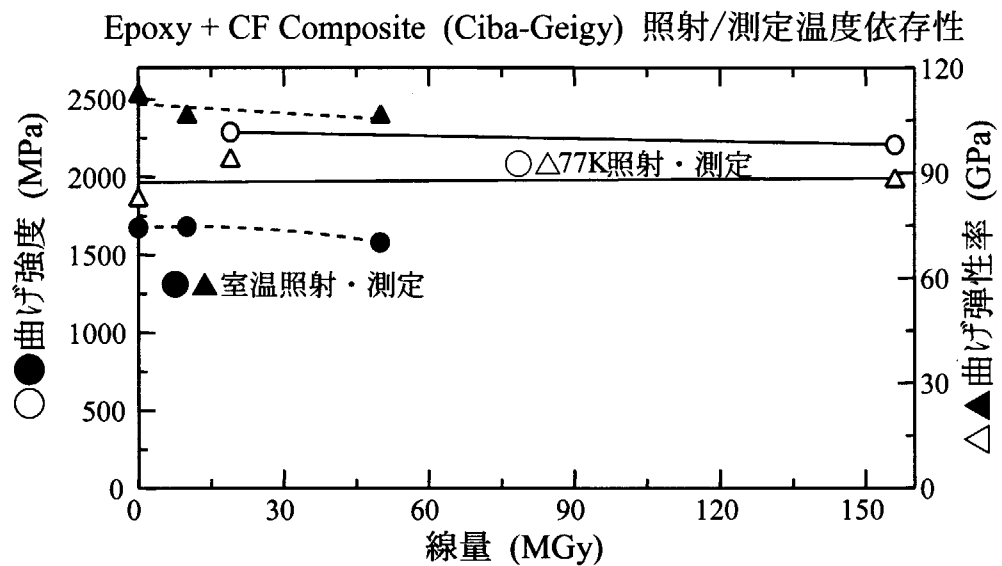


データシート No CFRP-6

出典; RESULT OF RADIATION TESTS AT CRYOGENIC TEMPERATURE ON SOME SELECTED ORGANIC MATERIALS FOR THE LHC CERN 96-05 (1996)

材料名	Epoxy + CF
分子データ	エポキシ、硬化剤不明
主な用途	構造材料
製作者	Ciba-Geigy
形状	厚さ 2~6mm
照射条件	77K照射: IVV-2M(15MW) reactor (Russia) RT照射: ASTRA reactor, Seibersdorf (Austria)
測定	3点曲げ試験(スパン; 67mm, クロスヘッドスピード; 2mm/min)

線量 MGy	室温照射及び測定			77 K 照射及び測定		
	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)	曲げ強度 MPa	変位 %	弾性率 (Gpa)
0.0	1674 ± 135	1.54 ± 0.05	112 ± 1.8	864 ± 23	1.1 ± 0.0	82.3 ± 3.6
10.0	1681 ± 122	1.65 ± 0.09	106 ± 1.5			
19.0				2288 ± 44	2.5 ± 0.2	93.5 ± 2.2
50.0	1579 ± 75	1.56 ± 0.06	106 ± 0.9			
156.0				2206 ± 83	2.7 ± 0.2	87.7 ± 2.5



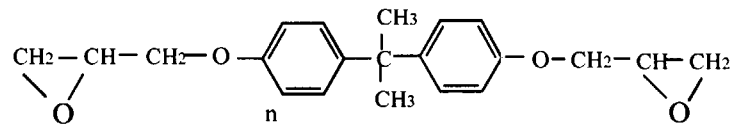
7. 耐放射線性マトリックス樹脂 および FRP

多種多様なエポキシ樹脂が開発され、様々の特性を持つ繊維強化プラスチック(FRP)のマトリックス樹脂として使用できるようになってきた。4官能性のテトラグリシジル型のエポキシを芳香族系の硬化剤で硬化させたエポキシ樹脂は250℃以上のガラス転移温度を持つばかりでなく、力学特性も優れている。現在では、炭素繊維と組み合わせて宇宙航空分野で使用されている。

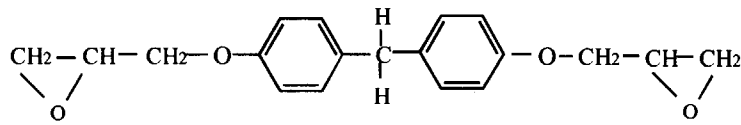
芳香族系の硬化剤で硬化したエポキシ樹脂は耐放射線性の面からも優れていることが、芳香族系高分子の耐放射線性の検討から容易に類推でき、耐放射線性の検討が行われてきた。

加速器施設の大型電磁石の絶縁材料に使用するためには、硬化前の良好な含浸性、施工に好都合な短くもなく長くもない硬化時間、硬化温度が高くないこと、プリプレグの安定性などが要求される。したがって、耐放射線性が高く、高性能であってもマグネットの絶縁材料として使用できないこともある。加工性を加味した材料選択が重要である。

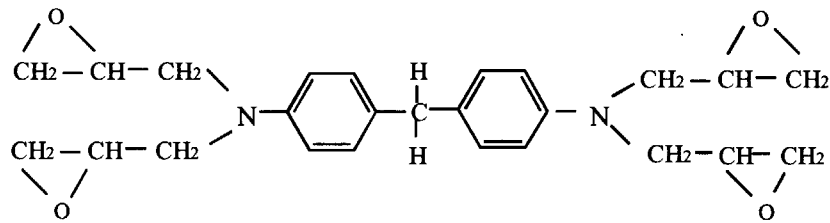
マトリックス樹脂等の分子構造



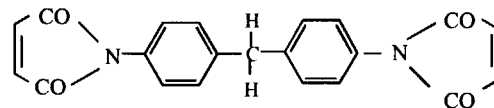
DGEBA; Didlycidil ether of bisphenol A



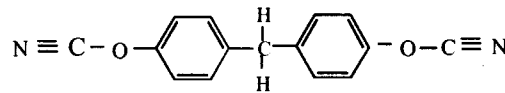
DGEBF; Diglycidil ether of Bisphenol F



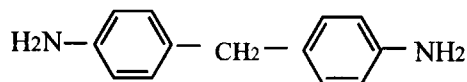
TGDDM; Tetraglycidil diamino diphenyl methan



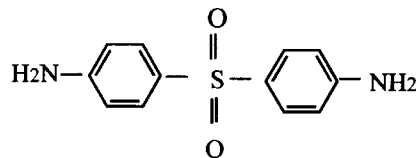
Bis-maleimide



Triazine



DDM; Diamino diphenyl methan



DDS; Diamino diphenyl sulphone

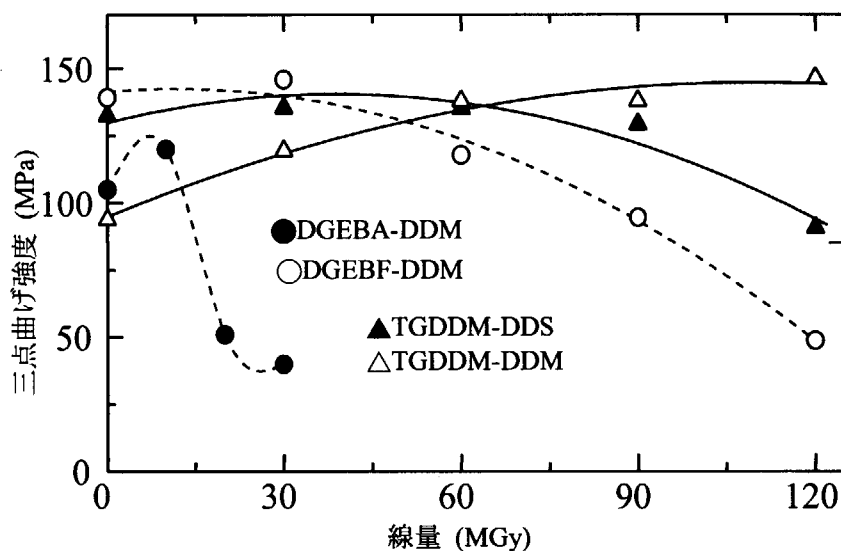
データシート No EPOJ-1

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 -Ⅲ-高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	2官能・4官能エポキシ樹脂
分子データ	エポキシ; DGEBA, DGBBF, TGDDM、硬化剤; DDM, DDS
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
製作者	三菱電機(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm、クロスヘッドスピード; 5mm/min)

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)			
	DGEBA-DDM	DGEBF-DDM	TDDDM-DDM	TDDDM-DDS
0	105.0	139.2	93.8	132.4
10	120.0			
20	51.0			
30	40.0	146.0	119.3	135.3
60		117.8	137.8	135.1
90		94.6	137.8	129.2
120		48.7	146.3	90.54

2官能・4官能エポキシ/硬化剤の組み合わせによる耐放射線性の違い



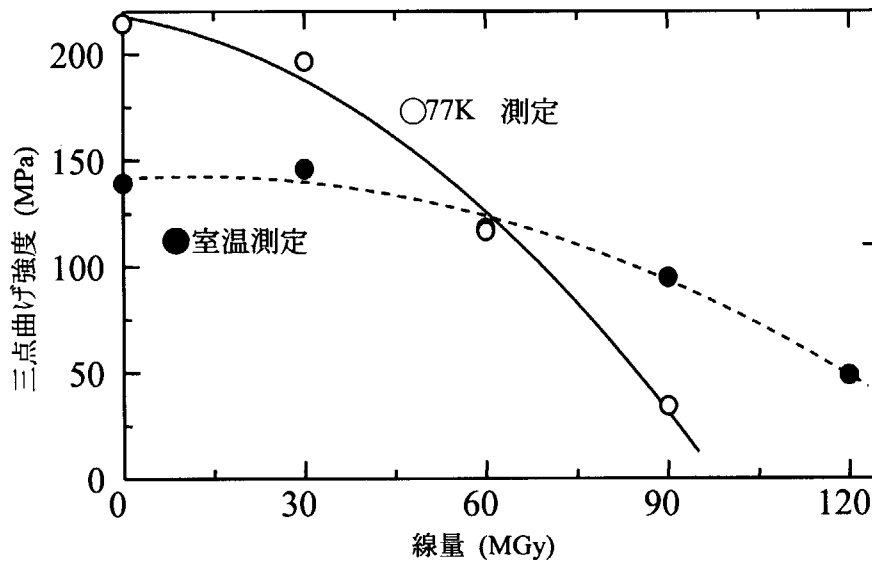
データシート No EPOJ-2

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 - III - 高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	ビスフェノールFエポキシ樹脂
分子データ	エポキシ; DGGBF、硬化剤; DDM
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
製作者	三菱電機(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm、クロスヘッドスピード; 5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)	
	室温	77K
0	139.2	214.5
30	146.0	196.6
60	117.8	116.5
90	94.6	34.1
120	48.7	

照射によるDGEBF-DDMエポキシ樹脂の低温特性の変化



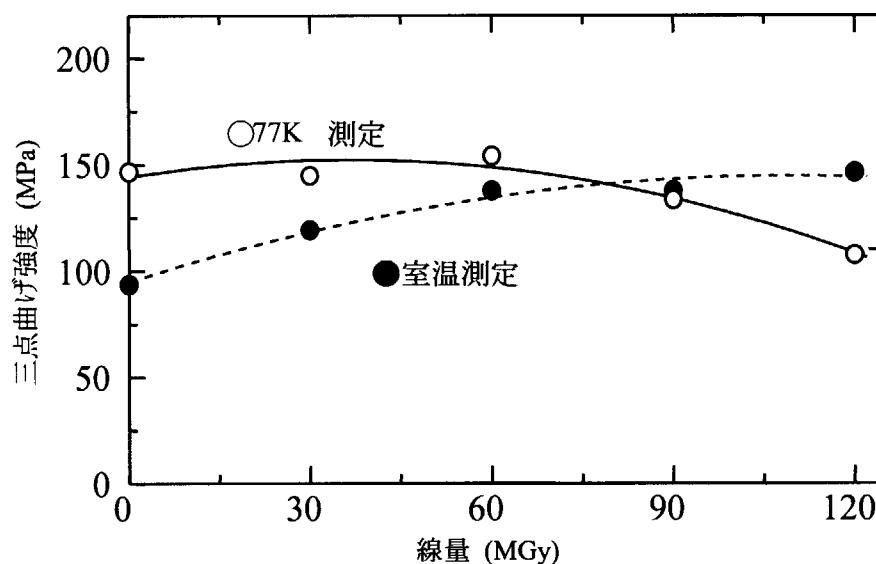
データシート No EPOJ-3

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 - III - 高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	テトラグリシジル系エポキシ樹脂
分子データ	エポキシ;TGDDM、硬化剤;DDM
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
製作者	三菱電機(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)	
	室温	77K
0	93.8	146.6
30	119.3	144.9
60	137.8	154.3
90	137.8	133.5
120	146.3	107.6

照射によるTGDDM-DDMエポキシ樹脂の低温特性の変化



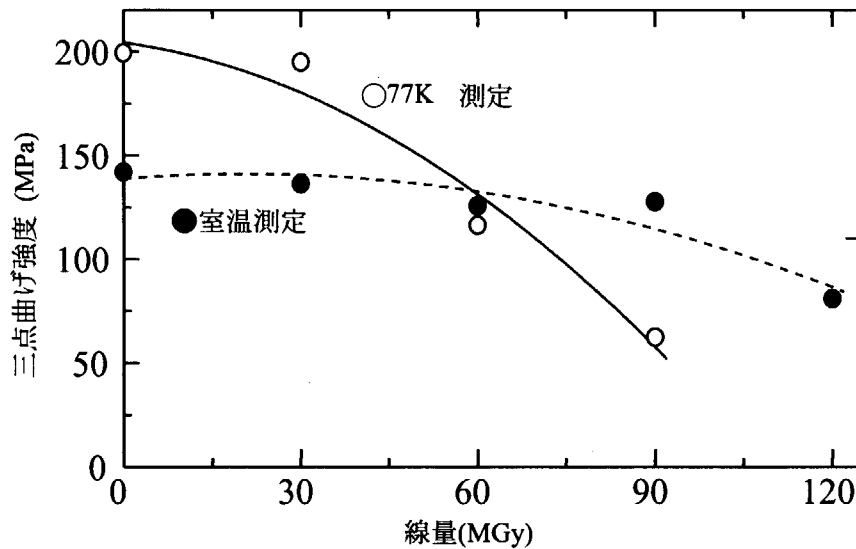
データシート No EPOJ-4

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 -Ⅲ-高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	BT-resin
分子データ	ビスマレイミド-トリアジン
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
製作者	三菱ガス化学(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)	
	室温	77K
0	142.0	199.43
30	136.4	194.89
60	125.9	116.48
90	127.7	62.5
120	81.0	

照射による BT-resin の低温特性の変化



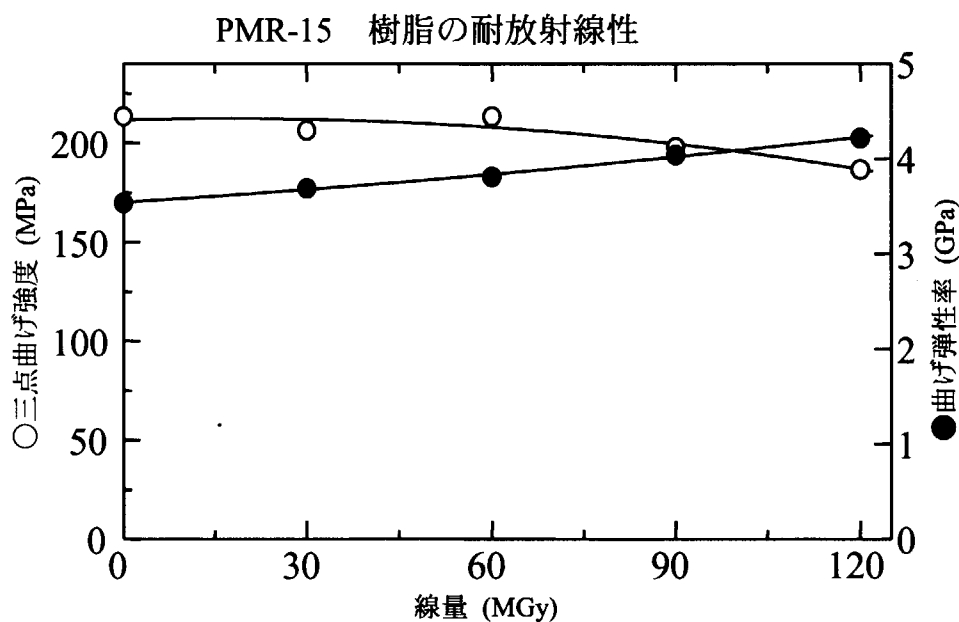
データシート No EPOJ-5

出典; JAERI-Tech 95-007 (1995)

“宇宙用構造材料としての炭素繊維強化プラスチックの放射線効果”

材料名	PMR-15
分子データ	PMR型ポリイミド
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
開発者	NASAラングレー
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 5mm/min)、

線量 (MGy)	曲げ弾性率 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	破断歪み (%)
0	3.54 ± 0.04	213.5 ± 6.8	6.73 ± 0.40
30	3.69 ± 0.04	206.4 ± 10.3	5.73 ± 0.74
60	3.81 ± 0.04	213.3 ± 1.8	6.38 ± 0.38
90	4.04 ± 0.09	197.8 ± 11.3	5.32 ± 0.64
120	4.22 ± 0.10	186.7 ± 6.6	4.43 ± 0.52



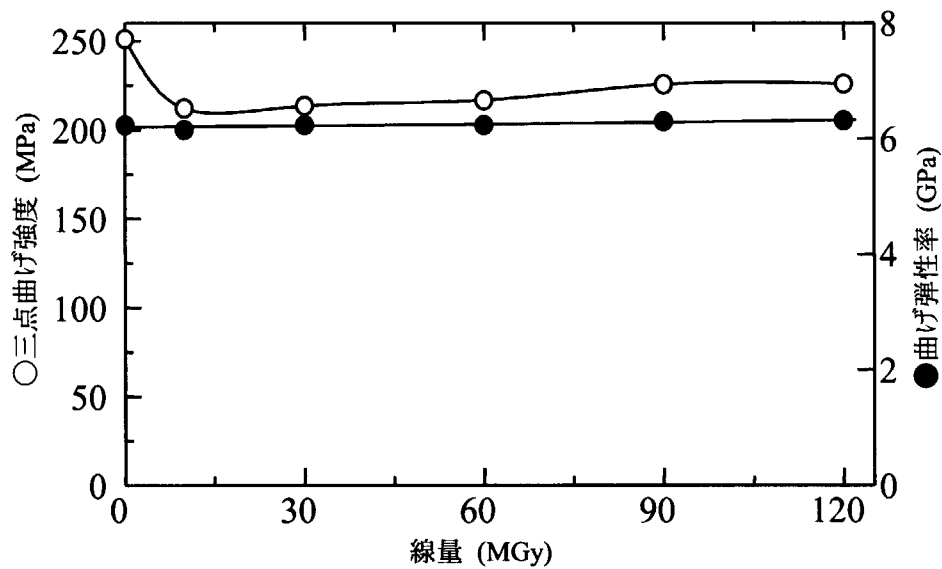
データシート No EPOJ-6

出典; Cryogenics, 35, 795 (1955)

材料名	PBI 樹脂
分子データ	ポリベンゾイミダゾール
主な用途	GFRP、CFRPのマトリックス樹脂
開発者	NASA
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード;5mm/min)、

線量 (MGy)	曲げ弾性率 (GPa)	曲げ強度 (MPa)	破断歪み (%)
0	6.24 ± 0.09	251.2 ± 9.2	2.03 ± 0.09
10	6.154 ± 0.12	212.1 ± 14.4	2.05 ± 0.17
30	6.24 ± 0.09	213.4 ± 10.3	2.03 ± 0.11
60	6.24 ± 0.07	216.7 ± 14.2	2.11 ± 0.16
90	6.30 ± 0.08	225.5 ± 10.2	2.18 ± 0.09
120	6.31 ± 0.11	225.7 ± 4.8	2.17 ± 0.05

PBI 樹脂の耐放射線性



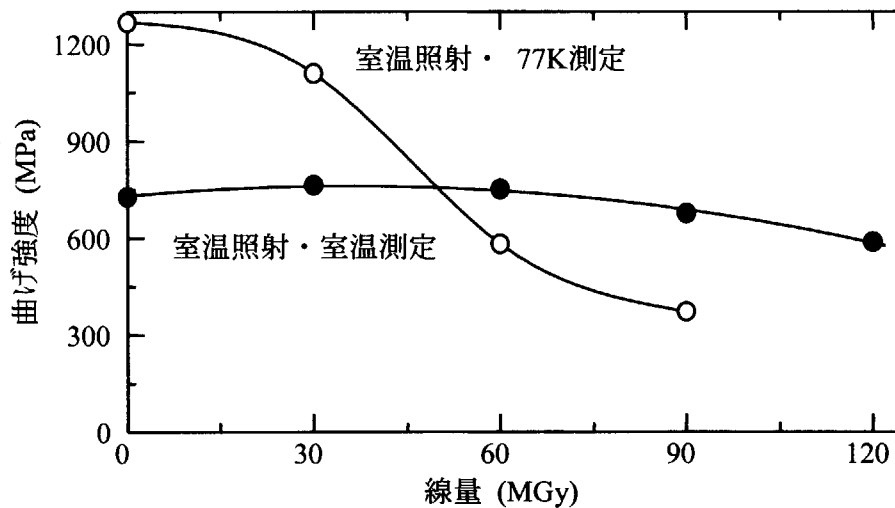
データシート No GFRPJ-1

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 -Ⅲ-高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	ビスフェノールF GFRP
分子データ	E glass/GEBF-DDM Vf 57%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	三菱電機
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)	
	室温	77K
0	727.9	1267.6
30	764.7	1110.3
60	751.5	582.4
90	676.5	372.0
120	588.2	

GF/DGEBF-DDM 測定温度依存性



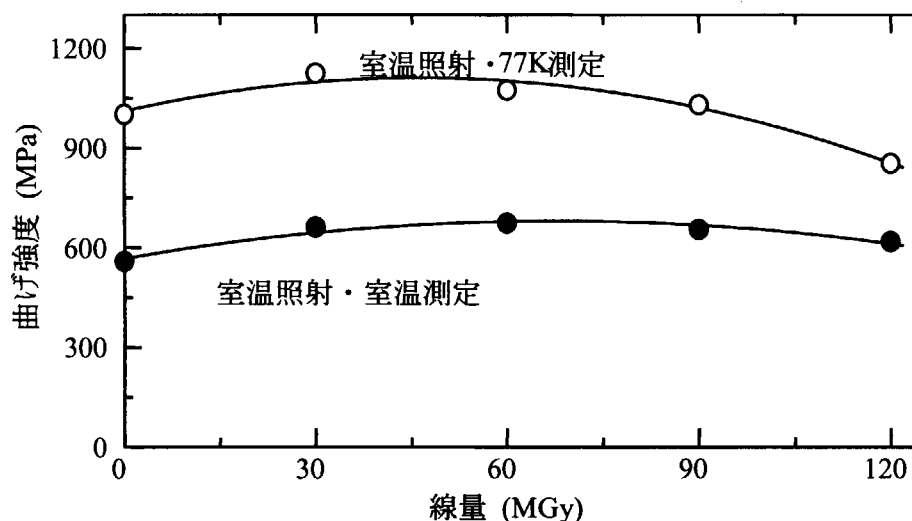
データシート No GFRPJ-2

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 -Ⅲ-高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	TGDDM-DDM GFRP
分子データ	E glass/TGDDM-DDM Vf 57%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	三菱電機
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)	
	室温	77K
0	558.8	1001.5
30	661.8	1125.0
60	674.1	1073.5
90	654.4	1029.4
120	617.6	852.9

GF/TGDDM-DDM測定温度依存性

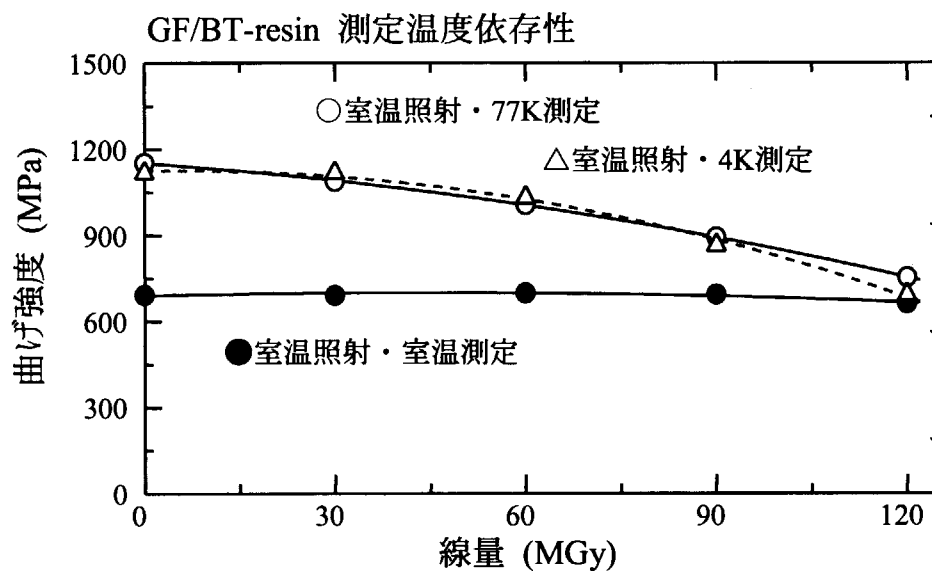


データシート No GFRPJ-3

出典; JAERI-M 89-203 (1989) 易加工性・耐放射線性強化プラスチックの研究
 -Ⅲ-高性能化した耐放射線性FRPの機械特性”

材料名	BT-resin GFRP
分子データ	E glass/BT resin-30% of DGEBA Vf 45%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	三菱電機
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)		
	室温	77K	4K
0	692.6	1152.9	1117.6
30	691.2	1088.0	1117.6
60	698.5	1007.4	1030.9
90	694.1	892.6	863.2
120	661.8	752.9	691.2



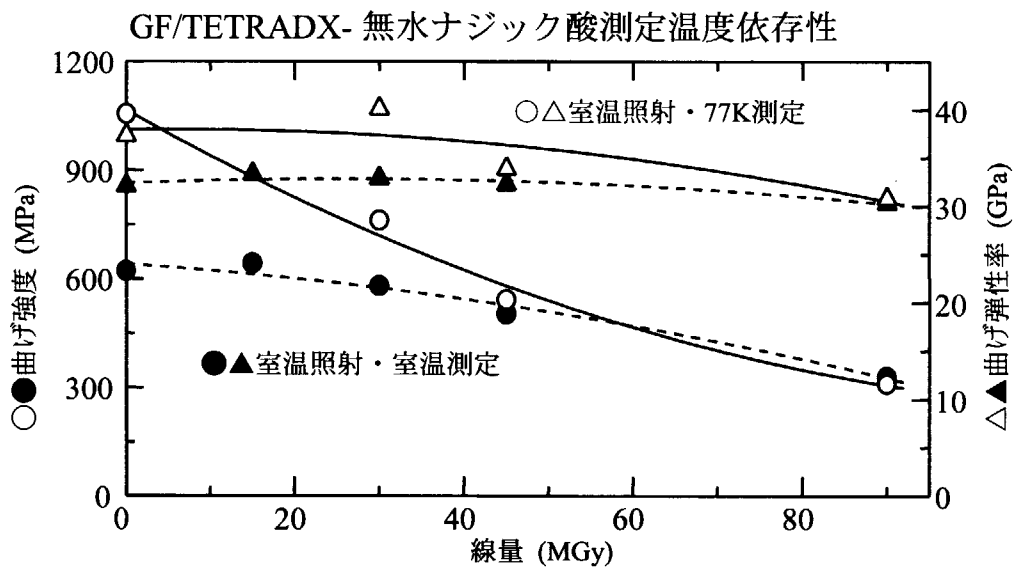
データシート No GFRPJ-4

出典； 誘電・絶縁材料研究会資料 DEI-91-134 (1991)

“低粘性4官能グリシジルアミンを母材とするFRPの耐放射線性”

材料名	TETRADX-無水ナジック酸 GFRP
分子データ	E-glass TETRADX-無水ナジック酸 Vf 60%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	三菱ガス化学((株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)		曲げ弾性率(GPa)		歪み(%)	
	室温	77K	室温	77K	室温	77K
0	622.2	1056.0	32.1	37.3	4.57	7.32
15	643.6		33.3		4.68	
30	581.6	761.9	32.9	40.1	4.38	5.08
45	504.0	542.8	32.3	33.9	4.76	3.96
90	329.6	310.2	30.3	30.8	3.50	3.30



データシート No GFRPJ-5

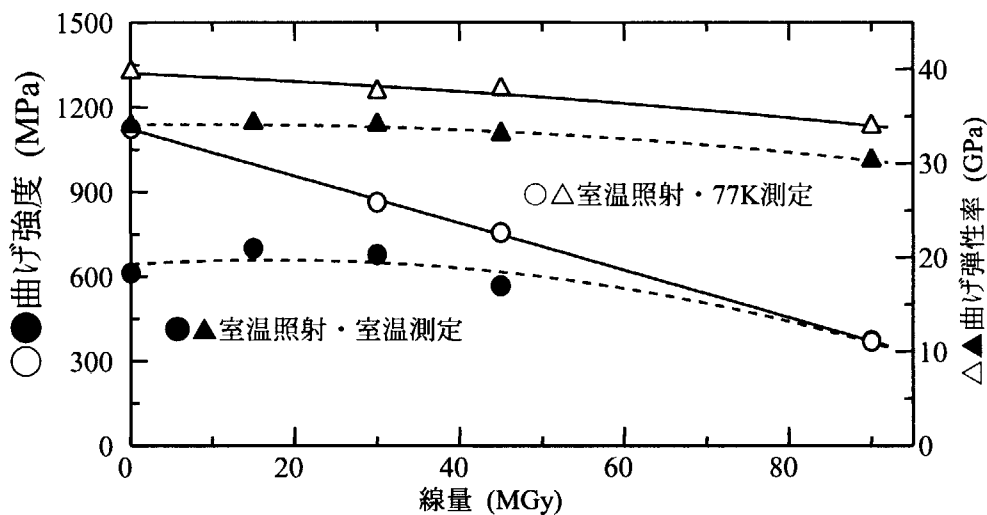
出典：誘電・絶縁材料研究会資料 DEI-91-134 (1991)

“低粘性4官能グリシジルアミンを母材とするFRPの耐放射線性”

材料名	TETRADX-エピキュア-Z GFRP
分子データ	E-glass TETRADX-エピキュア-Z Vf 60%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	三菱ガス化学((株))
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	2MeV電子、線量率 0.5 kGy/s、空气中(水冷板上冷却)
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード;5mm/min)、室温及び77K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)		曲げ弾性率(GPa)		歪み(%)	
	室温	77K	室温	77K	室温	77K
0	612.9	1124.0	34.0	39.7	4.22	7.27
15	699.8		34.3		4.90	
30	678.5	862.7	34.1	37.6	4.81	5.60
45	566.1	756.1	33.1	37.9	4.38	5.21
90	372.2	368.3	30.3	33.9	3.05	3.53

GF/TETRADX- エピキュア-Z 測定温度依存性



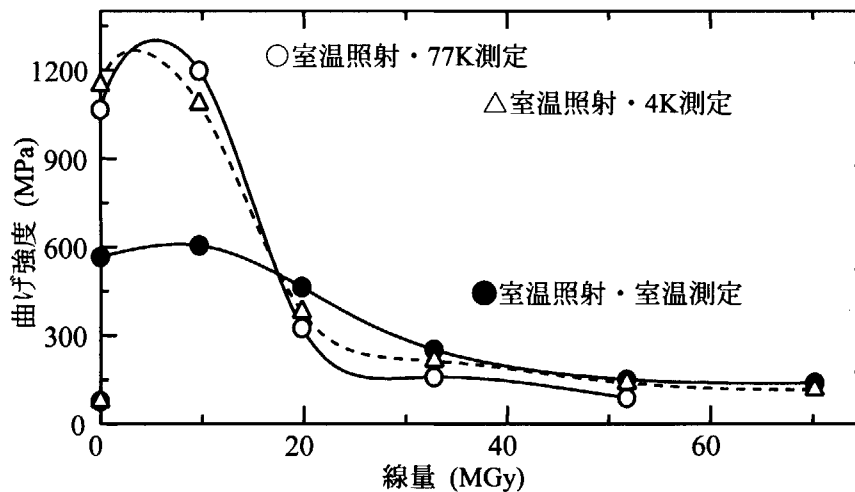
データシート No GFRPJ-6

出典; "J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	DGEBA-DDM GFRP 測定温度依存性
分子データ	E-glass/DGEBA-DDM Vf 62%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	住友ベークライト
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)		
	室温	77K	4K
0.0	566.5	1066.0	1147.8
9.7	604.8	1198.0	1085.8
19.8	463.5	324.9	378.8
32.8	251.5	158.4	213.5
51.8	149.7	87.1	137.7
70.2	137.7		114.8

γ 線照射 GF/DGEBA-DDM 測定温度依存性

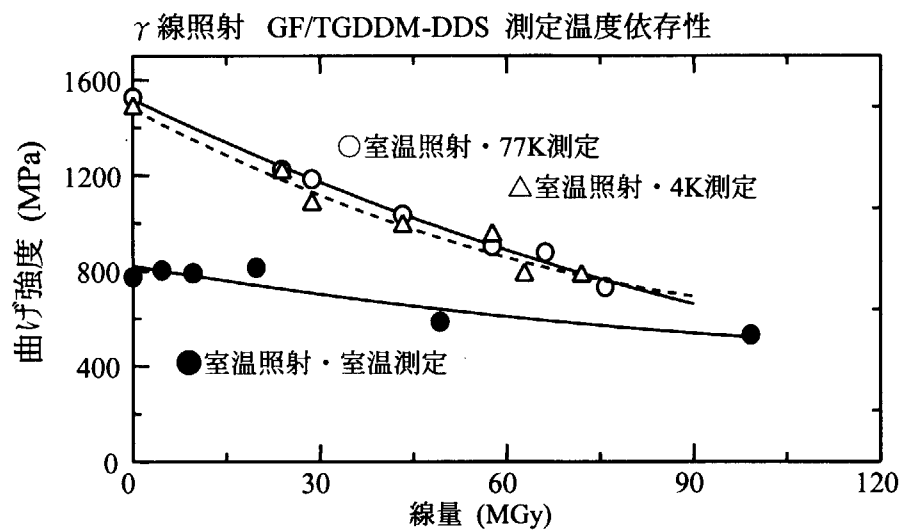


データシート No GFRPJ-7

出典; "J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	TGDDM-DDS GFRP 測定温度依存性
分子データ	E glass/TGDDM-DDM Vf 57%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	住友ベークライト
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

曲げ強度 (MPa)					
線量 (MGy)	室温	線量 (MGy)	77K	線量 (MGy)	4K
0.0	774.9	0.0	1526.9	0.0	1480.6
4.7	802.4	23.9	1224.4	23.9	1212.1
9.7	790.4	28.7	1183.8	28.7	1079.0
19.8	814.4	43.3	1035.5	43.3	987.1
49.3	586.8	57.7	903.6	57.7	948.2
99.2	530.5	66.2	877.2	62.8	780.5
		75.8	731.0	72.0	775.9

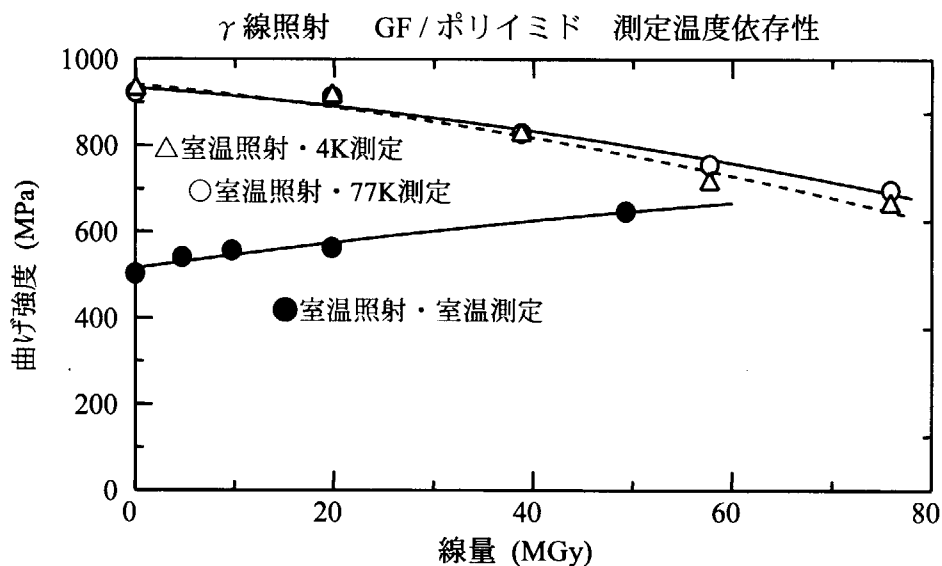


データシート No GFRPJ-8

出典; "J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	ポリイミド GFRP 測定温度依存性
分子データ	E-glass/Kelimid 601 Vf 62%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	住友ベークライト
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

曲げ強度 (MPa)					
線量 (MGy)	室温	線量 (MGy)	77K	線量 (MGy)	4K
0.0	503.0	0.0	923.9	0.0	929.7
4.7	541.3	19.8	913.7	19.8	913.6
9.7	556.9	38.8	828.4	38.8	824.1
19.8	562.9	57.7	755.3	57.7	711.6
49.3	646.7	75.8	696.4	75.8	661.1
99.2	532.9	99.2	588.8		



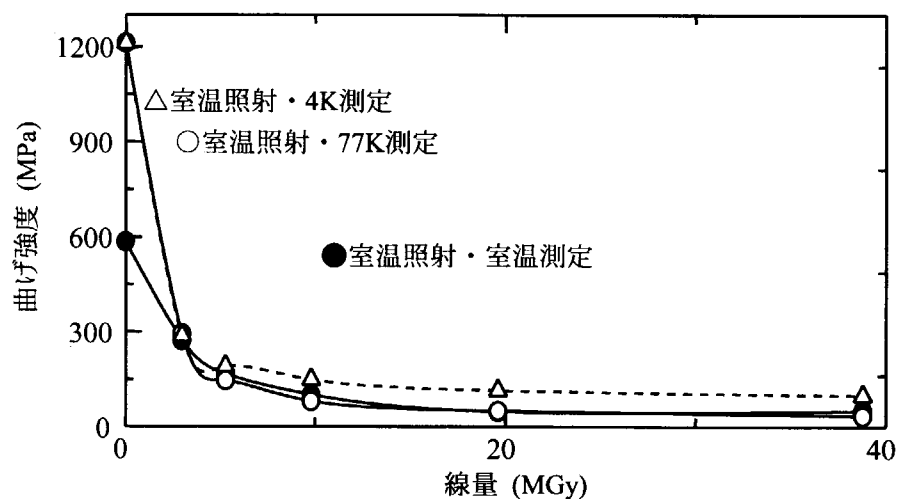
データシート No GFRPJ-9

出典; J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	G-10CR 測定温度依存性
分子データ	E-glass/DGEBA-DICY Vf 52%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	スポルディング
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

線量 (MGy)	曲げ強度(MPa)		
	室温	77K	4K
0.0	584.4	1212.2	1212.1
3.0	273.1	294.4	286.9
5.3	167.7	146.2	190.5
9.8	101.8	81.2	149.2
19.6	47.9	50.8	114.8
38.8	50.3	34.5	98.7

γ 線照射 G-10CR 測定温度依存性



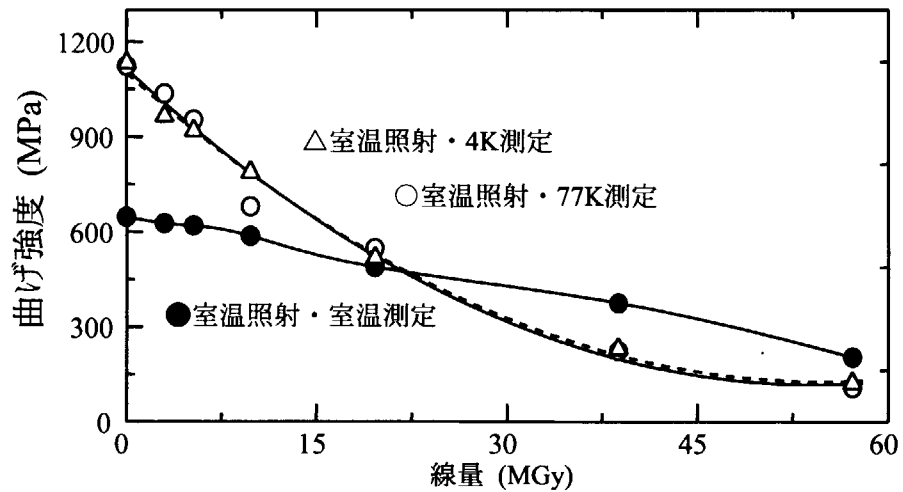
データシート No GFRPJ-10

出典; J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	G-11CR 測定温度依存性
分子データ	E-glass(II)/DGEBA-DDS Vf 58%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	スポルディング
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)		
	室温	77K	4K
0.0	646.7	1122.8	1131.7
3.0	626.3	1035.5	964.1
5.3	619.2	954.3	918.2
9.8	586.8	680.2	787.4
19.6	488.6	548.2	516.5
38.8	374.9	223.4	229.6
57.2	203.6	107.6	121.7

γ 線照射 G-11CR 測定温度依存性



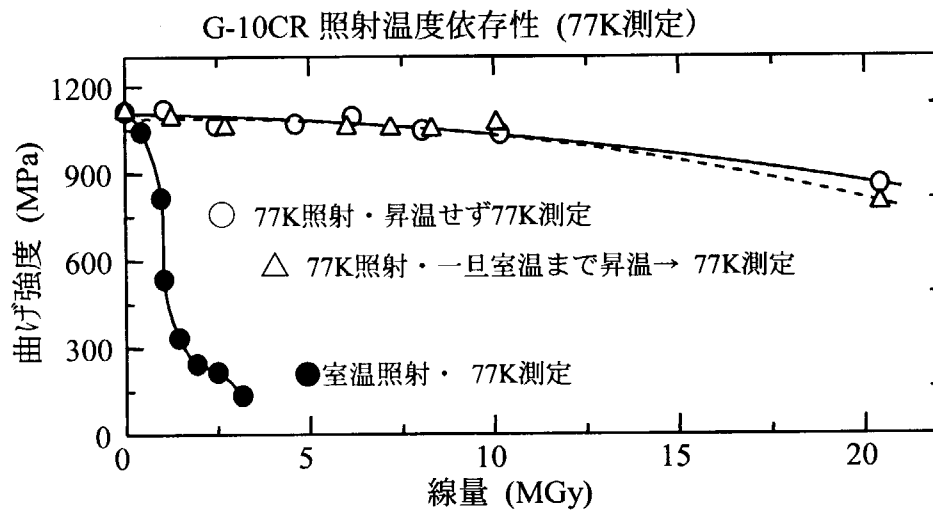
データシート No GFRPJ-11

出典; Radiat. Phys. Chem., 43, 329(1994)

材料名	G-1CR 照射温度依存性
分子データ	E-glass/DGEBA-DICY Vf 52%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	スポルディング
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン:50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、室温、77K及び4K

曲げ強度 (MPa)					
線量(MGy)	室温照射	線量(MGy)	77K照射*	線量(MGy)	77K照射**
0	1113.3	0	1113.3	0	1113.3
0.44	1044.6	1.07	1120.5	1.27	1089.8
0.98	816.9	2.49	1066.3	2.73	1057.2
1.05	536.7	4.63	1069.9	6.02	1056.3
1.46	334.3	6.17	1095.2	7.20	1051.8
1.95	244.0	8.05	1048.1	8.30	1048.2
2.51	216.9	10.17	1035.5	10.07	1069.9
3.17	135.5	20.42	858.4	20.42	791.6

*昇温なし、**室温へ昇温し77Kで測定

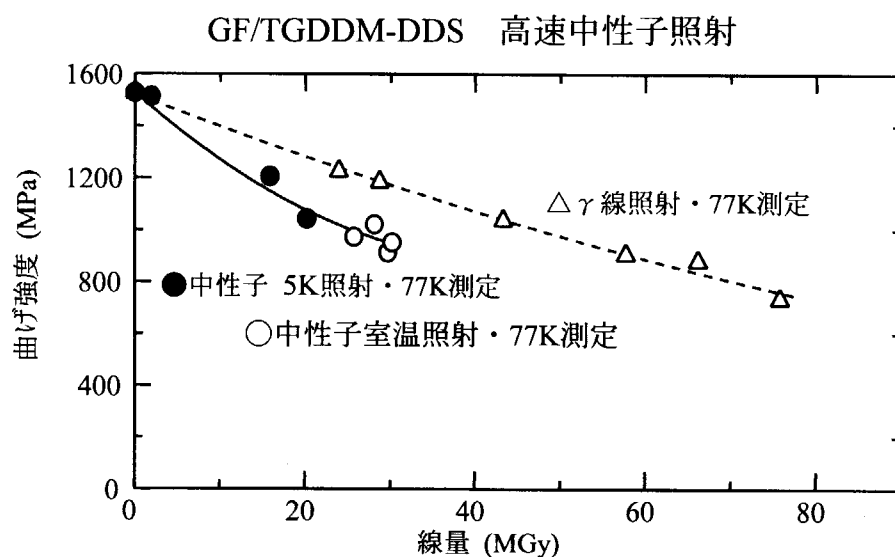


データシート No GFRPJ-12

出典; J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

材料名	GF/TGDDM-DDS 高速中性子照射効果
分子データ	E-glass/TGDDM-DDS Vf 60%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	住友ベークライト
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	中性子; Intense Pulsed Neutron Source (IPNS)、 γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、77K

中性子照射 77K 測定				γ 線照射 77K 測定	
曲げ強度 (MPa)				線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)
室温照射		5K照射			
線量(MGy)		線量(MGy)			
0.0	1526.9	0.0	1526.9	0.0	1526.9
25.7	972.6	1.9	1512.4	23.9	1224.4
28.1	1021.6	15.9	1205.7	28.7	1183.8
29.7	913.0	20.2	1042.7	43.3	1035.5
30.2	951.6			57.7	903.6
				66.2	877.2
				75.8	731.0



データシート No GFRPJ-13

出典; J. Mechanical Behavior of Materials, 1, 1(1988)

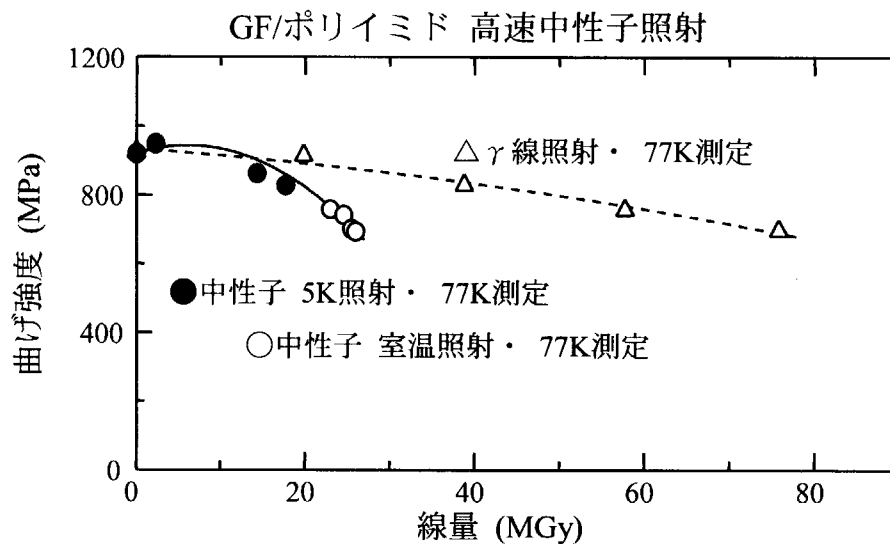
材料名	GF/ポリイミド 高速中性子照射効果
分子データ	E-glass/Kelimid 601 Vf 62%
主な用途	コイル絶縁材料
製作者	住友ベークライト
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	中性子; Intense Pulsed Neutron Source (IPNS)、 γ 線、線量率 2×10^6 R/h、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 0.5~0.6 mm/min)、77K

中性子照射 77K 測定

曲げ強度 (MPa)			
室温照射		5K照射	
線量(MGy)	強度(MPa)	線量(MGy)	強度(MPa)
0	919.5	0	919.5
23.0	758.6	2.3	948.3
24.6	741.4	14.3	862.1
25.5	701.1	17.7	827.6
26.0	693.1		

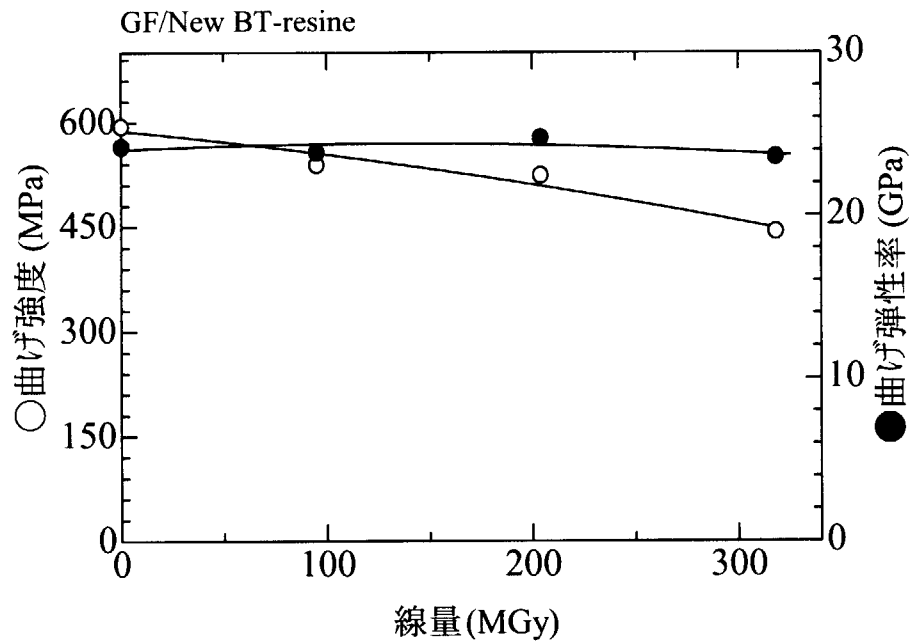
γ 線照射 77K 測定

線量 (MGy)	曲げ強度 (MPa)
0.0	923.9
19.8	913.7
38.8	828.4
57.7	755.3
75.8	696.4
99.2	588.8



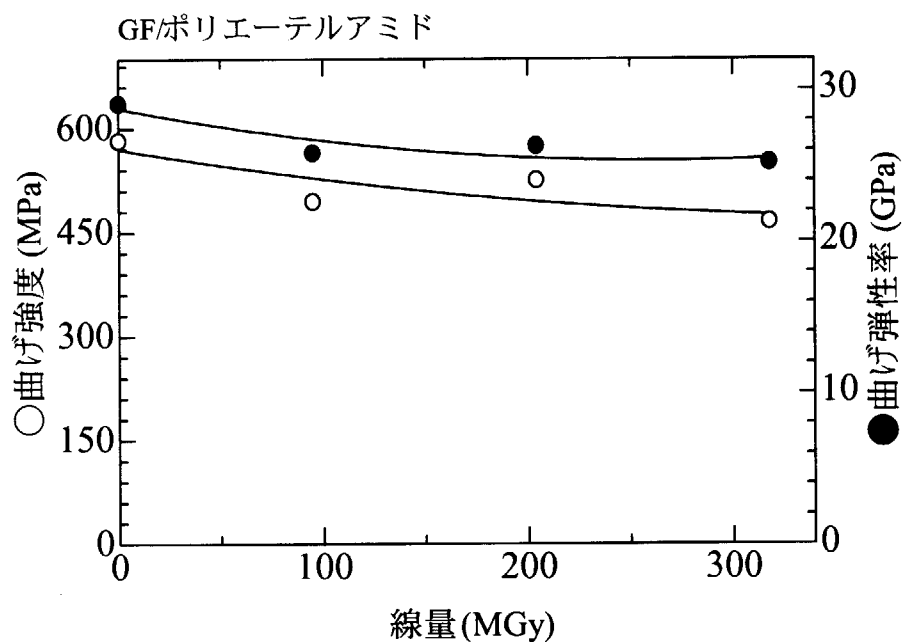
データシート No GFRPJ-14
 出典; 有沢製作所 社内データ

材料名	GF/BT-resin
分子データ	E-glass/BT2160 50phr + BT2170 50phr
主な用途	コイル絶縁用プリプレグ
製作者	有沢製作所
形状	厚さ 3mm、幅 10mm
照射条件	2MeV 電子線、線量率 4.5 kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(詳細不詳)室温



データシート No GFRPJ-15
 出典;有沢製作所 社内データ

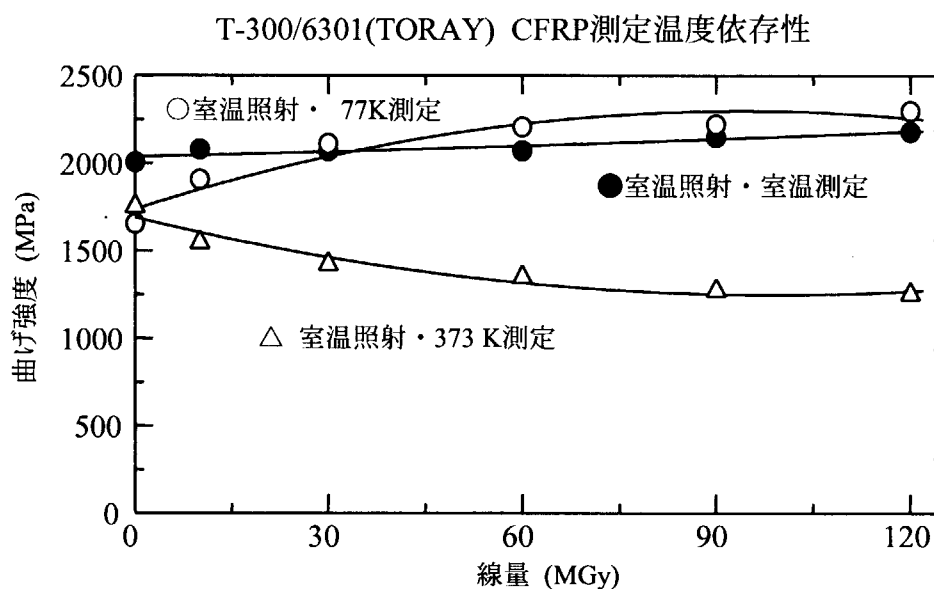
材料名	GF/Polyetheramide
分子データ	E-glass/ ノボラックフェノール(PMS4307) 100phr + 1,3-フェニルビスオキサゾリン 200phr
主な用途	コイル絶縁用プリプレグ
製作者	有沢製作所
形状	厚さ 3mm、幅 10mm
照射条件	2MeV 電子線、線量率 4.5 kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(詳細不詳)室温



データシート No CFRPJ-1
 出典; Adv. Composite Mater., 1, 321 (1991)

材料名	T-300/6301(TORAY) CFRP 測定温度依存性
分子データ	T-300:High strength fiber, 3601:TDDDM-DDS conventional Epoxy
主な用途	航空機用構造材料
製作者	富士重工業(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線;線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード; 5 mm/min)、 137 K、室温、及び373 K

線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)		
	(173 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)
0	1654.6	2007	1750.0
10	1907.9	2079	1546.1
30	2111.8	2072	1421.1
60	2207.2	2072	1348.6
90	2220.4	2148	1269.7
120	2296.1	2178	1250.0

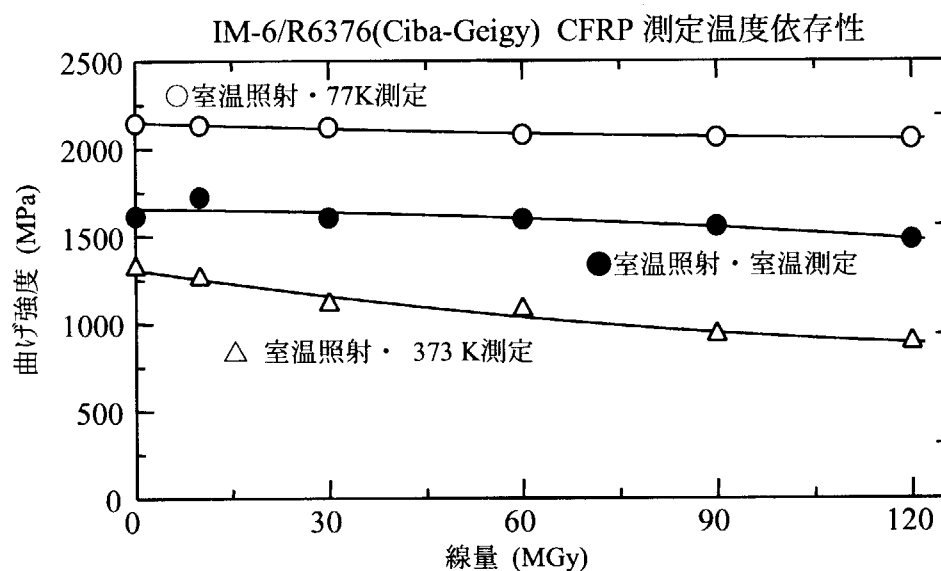


データシート No CFRPJ-2

出典; Adv. Composite Mater., 1, 321 (1991)

材料名	IM-6/R6376(Ciba-Geigy) CFRP 測定温度依存性
分子データ	IM-6: Intermediate modulus high strength fiber, R6376: Tough type modified TGDDM-DDS
主な用途	航空機用構造材料
製作者	富士重工業(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線;線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード; 5mm/min)、 137 K、室温、及び373 K

線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)		
	(173 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)
0	2146.0	1614	1318.0
10	2134.0	1724	1259.0
30	2123.0	1606	1111.0
60	2079.0	1597	1077.0
90	2062.0	1555	930.0
120	2054.0	1479	887.0



データシート No CFRPJ-3

出典; JAERI-Tech 95-007 (1995)

“宇宙用構造材料としての炭素繊維強化プラスチックの放射線効果”

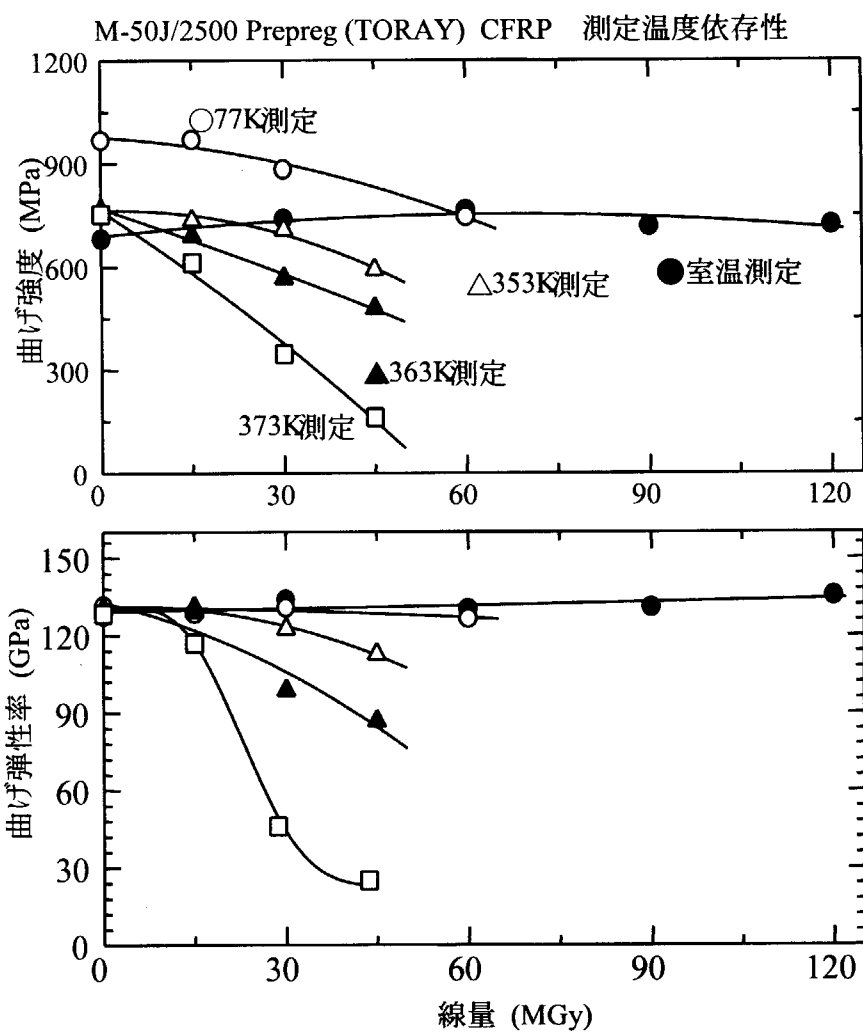
材料名	M-50J/2500 Prepreg (TORAY) CFRP 測定温度依存性
分子データ	Matrix; TGDDM-DDS系 20ply Vf 59.4 %
主な用途	航空機用構造材料
製作者	横浜ゴム(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線;線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm、クロスヘッドスピード; 5mm/min)、77 K、室温、353 K、363 K及び373 K

線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(353 K測定)	(363 K測定)	(373 K測定)
0	968.9	682.5±45.2	767.2	766.2	753.2
15	970.8		735.0	688.8	611.8
30	884.1	740.8±35.3	708.4	567.0	345.8
45			590.8	478.8	161.0
60	745.8	765.8±35.6			
90		717.3±70.2			
120		722.3±42.5			

線量 (MGy)	曲げ弾性率(GPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(353 K測定)	(363 K測定)	(373 K測定)
0	131.6	127.7±6.9	130.6	130.4	128.4
15	128.7		130.9	129.1	116.9
30	130.9	133.9±6.7	122.5	98.7	43.8
45			112.6	86.8	22.7
60	126.6	130.3±4.1			
90		130.9±3.6			
120		135.5±10.9			

プロットは次ページ

M-50J/2500 Prepreg (TORAY) CFRP 測定温度依存性 プロット



データシート No CFRPJ-4

出典; JAERI-Tech 95-007 (1995)

“宇宙用構造材料としての炭素繊維強化プラスチックの放射線効果”

材料名	T-800H12U145/8010-37C Prepreg (YRC) 測定温度依存性
分子データ	Matrix; PMR-15, 16ply Vf 60.2 % R6376: Tough type modified TGDDM-DDS
主な用途	航空機用構造材料
製作者	横浜ゴム(株)
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線;線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン;50mm, クロスヘッドスピード; 5mm/min)、 77 K、室温、373 K、476 K及び523 K

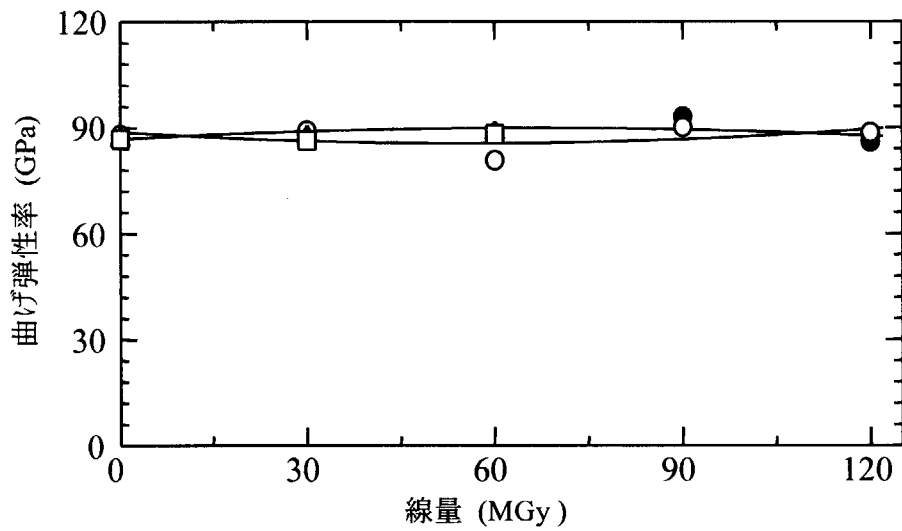
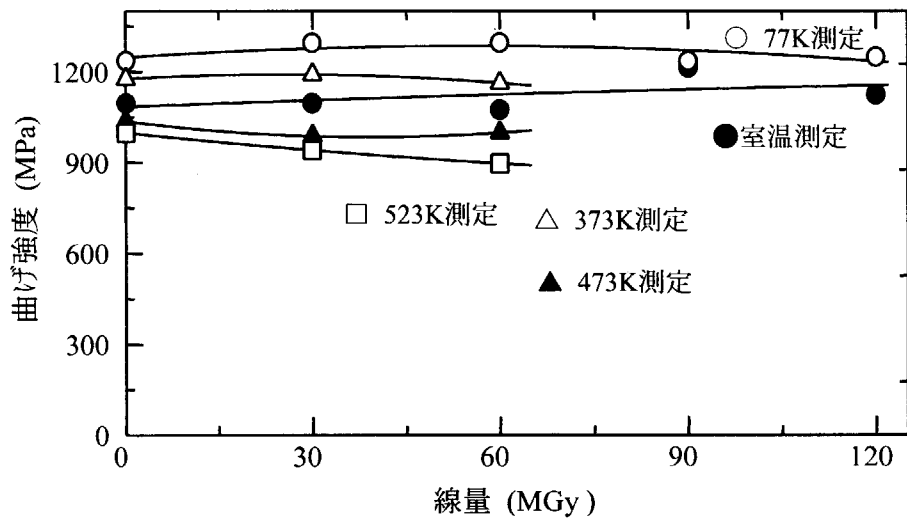
線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)	(473 K測定)	(523 K測定)
0	1235.7	1096.1 ± 42.0	1176.0	1036.0	998.2
30	1296.0	1097.4 ± 52.8	1190.0	987.0	940.8
60	1296.1	1074.8 ± 28.0	1162.0	998.0	896.0
90	1235.2	1214.0 ± 44.9			
120	1248.5	1124.9 ± 37.3			

線量 (MGy)	曲げ弾性率(GPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)	(473 K測定)	(523 K測定)
0	88.1	87.9 ± 1.1	86.8	86.3	86.7
30	89.2	87.0 ± 2.1	87.5	86.8	86.4
60	80.8	88.5 ± 1.8	88.4	88.3	88.0
90	90.1	93.05 ± 4.1			
120	88.6	85.96 ± 1.6			

プロットは次ページ

T-800H12U145/8010-37C Prepreg (YRC) 測定温度依存性 プロット

T-800H12U145/8010-37C prepreg (YRC) CFRP 測定温度依存性



データシート No CFRPJ-5
 出典; J. Mater. Sci., 34, 1570 (1989)

材料名	CF/ PEEK FRP 測定温度依存性
分子データ	マトリックス; PEEK play Prepreg Vf 58 % 炭素繊維; Torayca 614218
主な用途	航空機用構造材料
製作者	三井東圧化学((株)(現三井化学(株))
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線; 線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm、クロスヘッドスピード; 5mm/min)、 77 K、室温、373 K、436 K及び 453 K

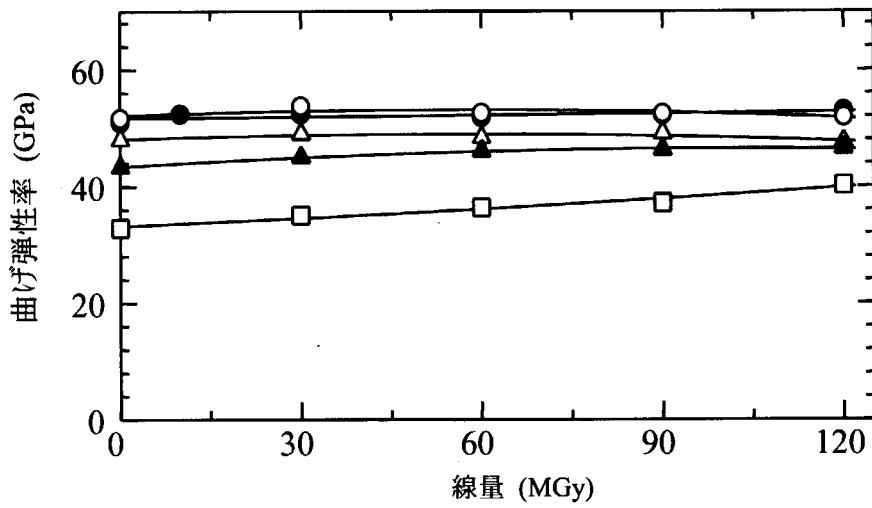
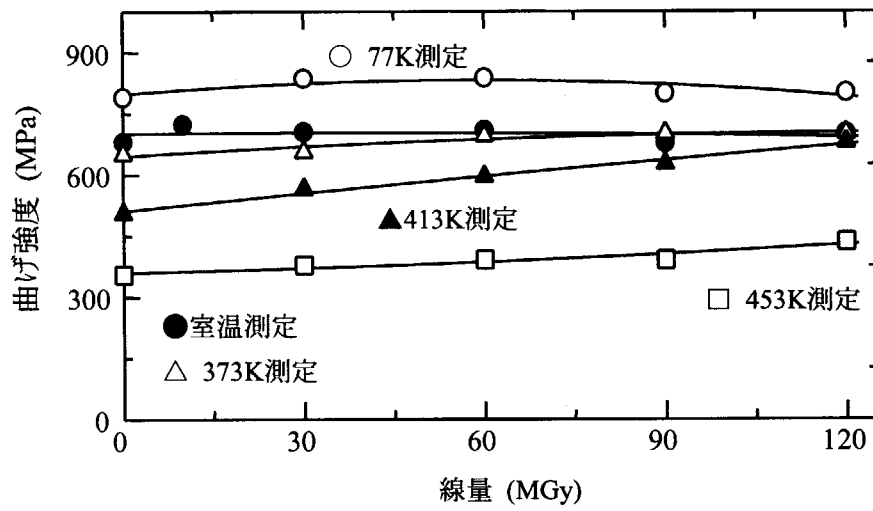
線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)	(413 K測定)	(453 K測定)
0	790.3	681	650.0	505.0	355.0
10		724			
30	836.7	705	655.0	565.0	378.0
60	837.7	709	695.0	595.0	391.0
90	799.3	677	700.0	625.0	390.0
120	800.7	701	700.0	678.0	435.0

線量 (MGy)	曲げ弾性率(GPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(373 K測定)	(413 K測定)	(453 K測定)
0	51.8	51.0	48.0	43.3	32.9
10		52.4			
30	53.8	52.4	49.0	45.0	35.0
60	52.6	51.8	48.3	46.0	36.3
90	52.4	52.2	49.0	46.2	37.1
120	51.9	53.0	47.5	46.4	40.1

プロットは次ページ

CF/ PEEK FRP 測定温度依存性 プロット

Torayca 6142/PEEK 18 play prepreg CFRP 測定温度依存性



データシート No CFRPJ-6

出典; Proc. of Int. Conf. on Advanced composite '93(1993)

材料名	CF/熱可塑性ポリイミド FRP 測定温度依存性
分子データ	マトリックス; AURUM, 18 play unidirection 炭素繊維; Torayca T-800
主な用途	航空機用構造材料
製作者	三井東圧化学((株)(現三井化学(株))
形状	厚さ 2mm、幅 6.4mm
照射条件	電子線; 線量率 5kGy/s、空气中
測定	3点曲げ試験(スパン; 50mm, クロスヘッドスピード; 5mm/min)、 137 K、室温、及び373 K

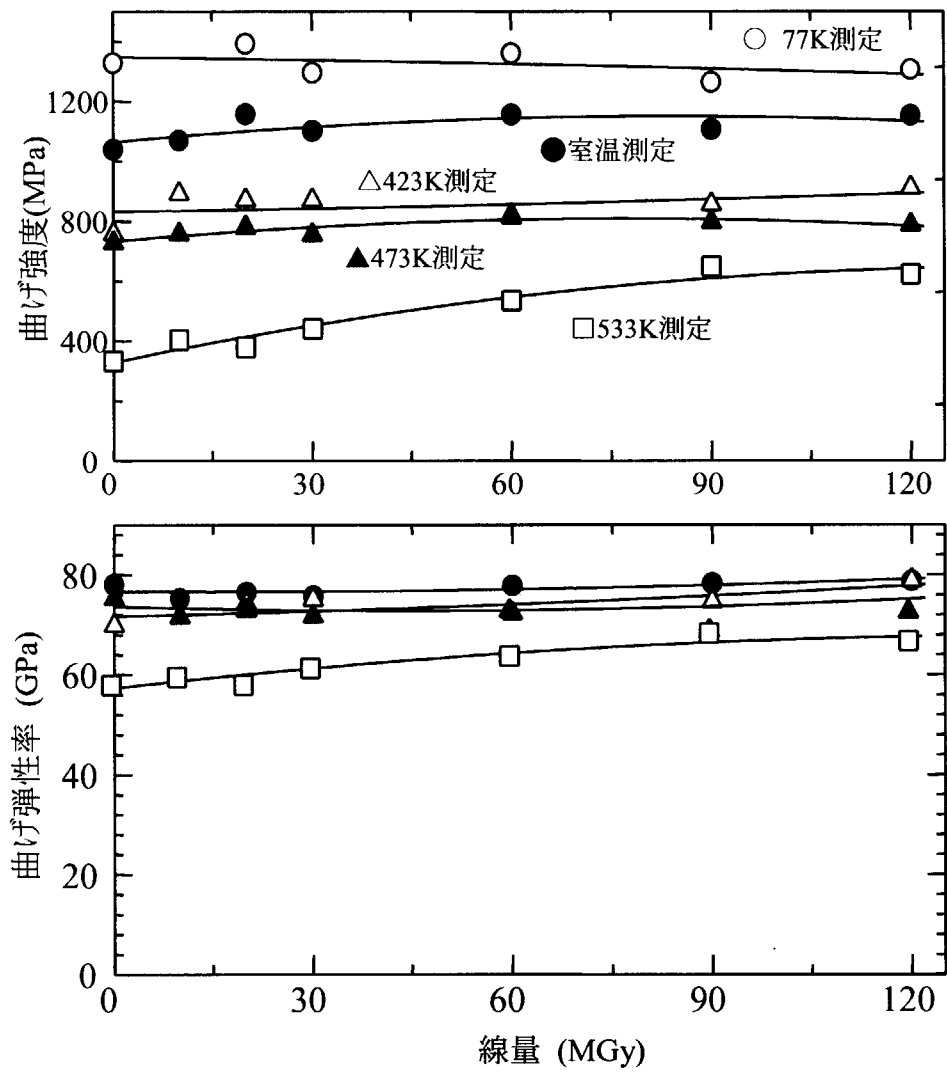
線量 (MGy)	3点曲げ強度(MPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(423 K測定)	(473 K測定)	(533 K測定)
0	1329.0	1040	758.0	728.0	333.0
10		1070	891.0	757.0	404.0
20	1393.0	1158	870.0	780.0	379.0
30	1296.0	1102	870.0	755.0	441.0
60	1361.0	1156	812.0	821.0	534.0
90	1264.0	1107	855.0	796.0	648.0
120	1307.0	1153	910.0	786.0	623.0

線量 (MGy)	曲げ弾性率(GPa)				
	(77 K測定)	(室温測定)	(423 K測定)	(473 K測定)	(533 K測定)
0		78.1	69.9	75.3	61.0
10		75.3	71.6	71.5	62.6
20		76.5	74.2	72.9	61.0
30		75.8	75.1	71.7	64.4
60		77.9	72.3	75.8	66.8
90		78.3	74.6	71.8	71.3
120		78.8	78.8	75.6	69.8

プロットは次ページ

CF/熱可塑性ポリイミド FRP 測定温度依存性 プロット

Torayca T-800/TPI 18 play uni-direction CFRP 測定温度依存性



8. 陽子・高速重イオン照射効果

高速中性子は、高分子材料中の水素原子と弾性衝突し、水素原子をはじき飛ばす。はじき飛ばされた陽子は反跳陽子と呼ばれ、媒体分子の核外電子との非弾性的な相互作用を行い、短い飛程の間に極めて多数の二次電子を生成させる(高密度励起)。高密度励起が起これば、ラジカルなどの反応活性種の空間分布が濃密になる。そのため、高速中性子照射効果は、電子や γ 線照射効果とは異なることがあると考えられる。

しかしながら、大強度の高速中性子線源が無いこともあり、高分子系材料に対する高速中性子照射効果の研究は極めて少ない。第1章にポリエチレンやEPゴムの架橋に及ぼす高速中性子照射の効果を γ 線照射と比較した結果を掲載した。この場合は、高速中性子と γ 線照射の間には差が認められていない。第2章「7. 耐放射線性マトリックス及びFRP」の中に記載したデータシートNo GFRP-12, 13は高速中性子照射の結果であるが、 γ 線照射の場合に比べ線量当たりの特性値の低下が大きい傾向があった。

放射線の飛程当たりどの位のイオン化を引き起こさせるかの尺度に線エネルギー吸収(Liner Energy Transfer; LET)がある。高速中性子は高LET放射線である。他の高LET放射線に高速の陽子や重イオンがある。原研高崎研究所のイオン照射施設 TIARA は妥当な材料照射ができるように計画され建設された施設である。ここで行われてきた、高分子系材料の高LET照射効果の結果をここにまとめる。

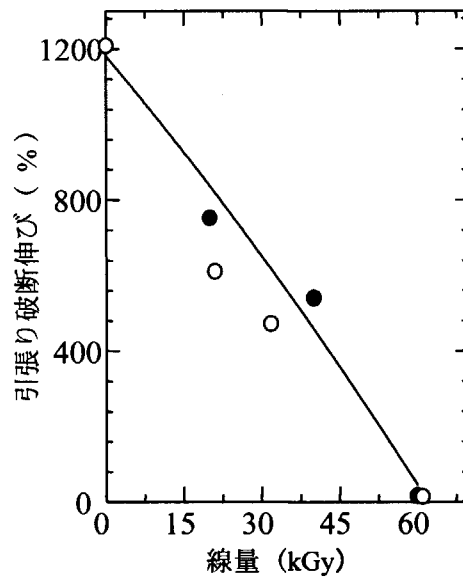
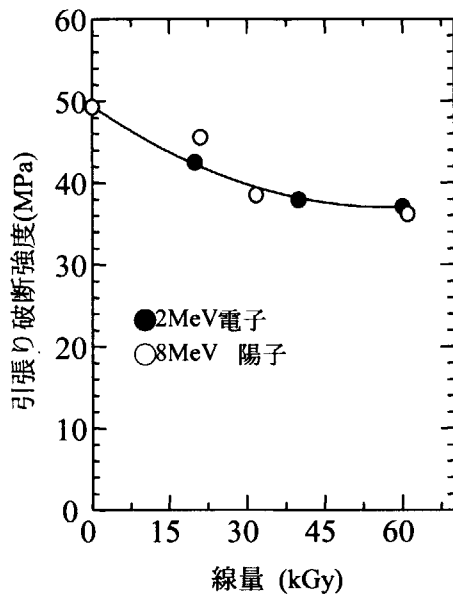
十分なデータとは言えないが、脂肪族高分子の機械特性変化に及ぼすLET効果が認められないが、芳香族高分子のそれには、LET効果が現れる傾向がある。

データシート No Ion-1
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	ポリプロピレン
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 kGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 kGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	49.3 \pm 9.9	1208 \pm 261	0.0	49.3 \pm 9.9	1208 \pm 261
20.0	42.53 \pm 1.2	753 \pm 156	21.0	45.6 \pm 5.4	611 \pm 136
40.0	37.9 \pm 8.9	540 \pm 125	31.8	38.5 \pm 8.9	473 \pm 130
60.0	37.1 \pm 3.5	17 \pm 4.5	61.0	36.2 \pm 2.2	14.5 \pm 1.5

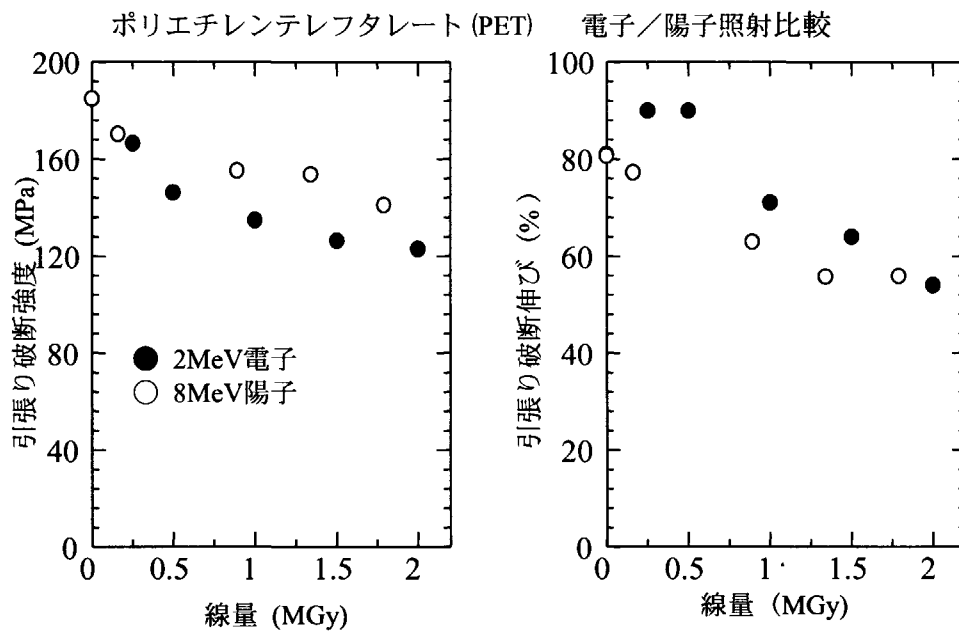
ポリプロピレン (PP) 電子/陽子照射比較



データシート No Ion-2
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)”

材料名	ポリエチレンテレフタレート(PET)
形状	厚さ100 μ m, ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			.8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	185.0 \pm 2.8	81 \pm 3	0.00	185.1 \pm 2.8	80.7 \pm 2.9
0.25	166.6 \pm 9.3	90 \pm 14	0.16	170.4 \pm 4.9	77.3 \pm 2.9
0.50	146.3 \pm 1.2	90 \pm 5	0.89	155.3 \pm 3.9	63.0 \pm 3.2
1.00	134.8 \pm 2.9	71 \pm 5	1.34	153.7 \pm 2.7	55.8 \pm 2.0
1.50	126.3 \pm 1.6	64 \pm 3	1.79	141.0 \pm 9.0	55.9 \pm 9.8
2.00	123.0 \pm 1.6	54 \pm 1	2.32	135.8 \pm 2.2	45.2 \pm 0.8

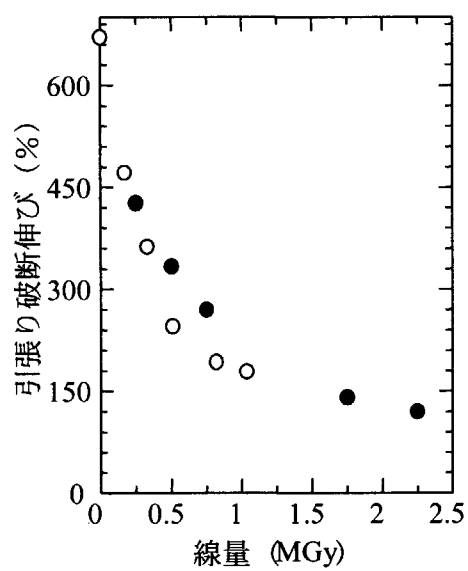
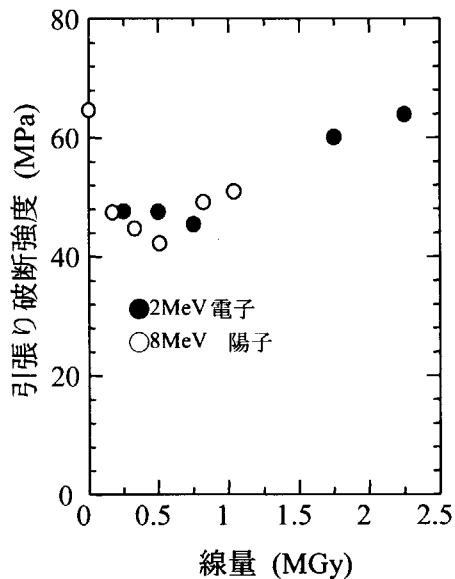


データシート No Ion-3
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	エチレン-プロピレン共重合体(ETFE)
形状	厚さ100 μ m, ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	64.7 \pm 4.3	671 \pm 29	0.00	64.7 \pm 4.3	671 \pm 29
0.25	47.7 \pm 1.9	427 \pm 39	0.17	47.5 \pm 4.4	472 \pm 34
0.50	47.6 \pm 2.3	334 \pm 53	0.33	44.8 \pm 6.6	363 \pm 51
0.75	45.5 \pm 2.2	270 \pm 13	0.51	42.3 \pm 2.2	246 \pm 40
1.75	60.1 \pm 5.1	141 \pm 14	0.82	49.2 \pm 4.8	193 \pm 21
2.25	63.9 \pm 4.3	120 \pm 14	1.04	51.0 \pm 3.0	179 \pm 5

エチレン-プロピレン共重合体 (ETFE) 電子/陽子照射比較

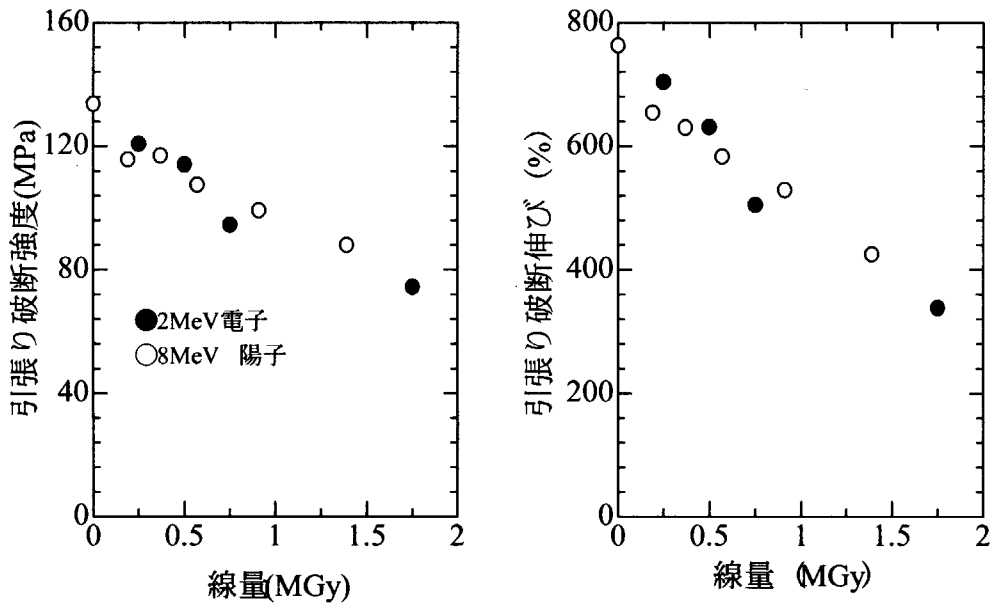


データシート No Ion-4
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)”

材料名	ナイロン-6
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ -電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度; 200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	133.7 \pm 9.0	763 \pm 57	0.00	133.7 \pm 9.0	763 \pm 57
0.25	120.8 \pm 9.4	704 \pm 66	0.19	115.7 \pm 6.3	654 \pm 50
0.50	114.1 \pm 6.6	631 \pm 42	0.37	117.0 \pm 8.1	630 \pm 44
0.75	94.5 \pm 9.4	505 \pm 46	0.57	107.5 \pm 13.3	583 \pm 64
1.75	74.4 \pm 10.1	338 \pm 42	0.91	99.2 \pm 8.7	529 \pm 39
			1.39	88.0 \pm 5.9	425 \pm 27

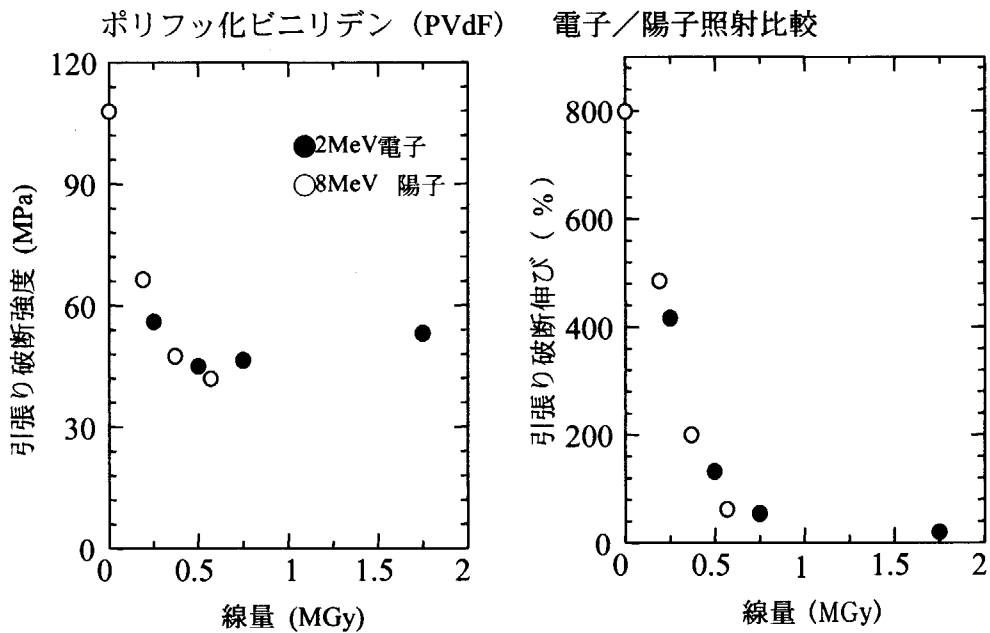
ナイロン-6 電子/陽子照射比較



データシート No Ion-5
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	ポリフッ化ビニリデン(PVdF)
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	107.9 \pm 9.0	799 \pm 65	0.00	107.9 \pm 9.0	799 \pm 65
0.25	56.0 \pm 8.2	416 \pm 76	0.19	66.4 \pm 8.6	485 \pm 52
0.50	45.0 \pm 6.3	132 \pm 32	0.37	47.5 \pm 10.7	200 \pm 76
0.75	46.5 \pm 1.8	54 \pm 34	0.57	41.9 \pm 4.1	62 \pm 27
1.75	53.1 \pm 2.8	20 \pm 1.6			

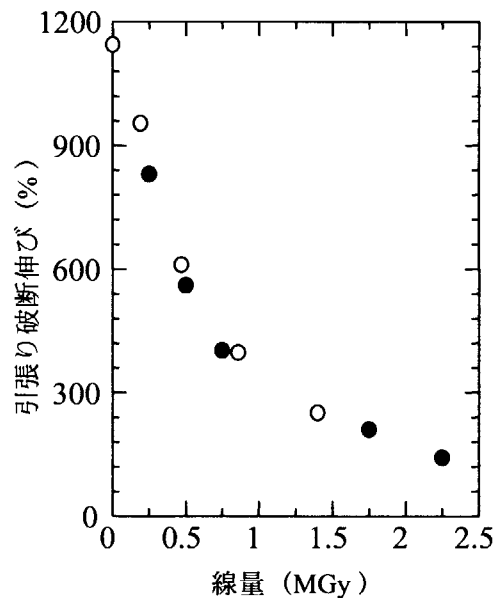
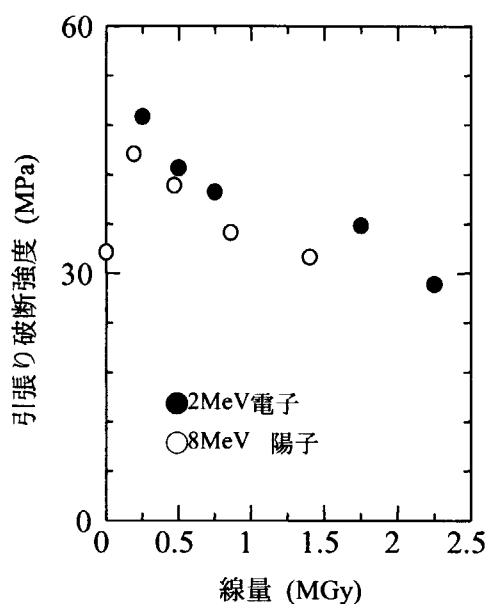


データシート No Ion-6
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)”

材料名	エチレン-酢酸ビニル共重合体(EVA)
形状	厚さ100 μ m, ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	32.6 \pm 0.9	1145 \pm 64	0.00	32.6 \pm 0.9	1145 \pm 64
0.25	49.0 \pm 2.0	831 \pm 29	0.19	44.5 \pm 3.7	954 \pm 43
0.50	42.8 \pm 2.6	561 \pm 31	0.47	40.7 \pm 1.9	611 \pm 18
0.75	39.9 \pm 2.5	403 \pm 18	0.86	35.0 \pm 2.3	398 \pm 21
1.75	35.8 \pm 3.5	210 \pm 20	1.40	32.0 \pm 2.6	251 \pm 7
2.25	28.7 \pm 3.6	142 \pm 13			

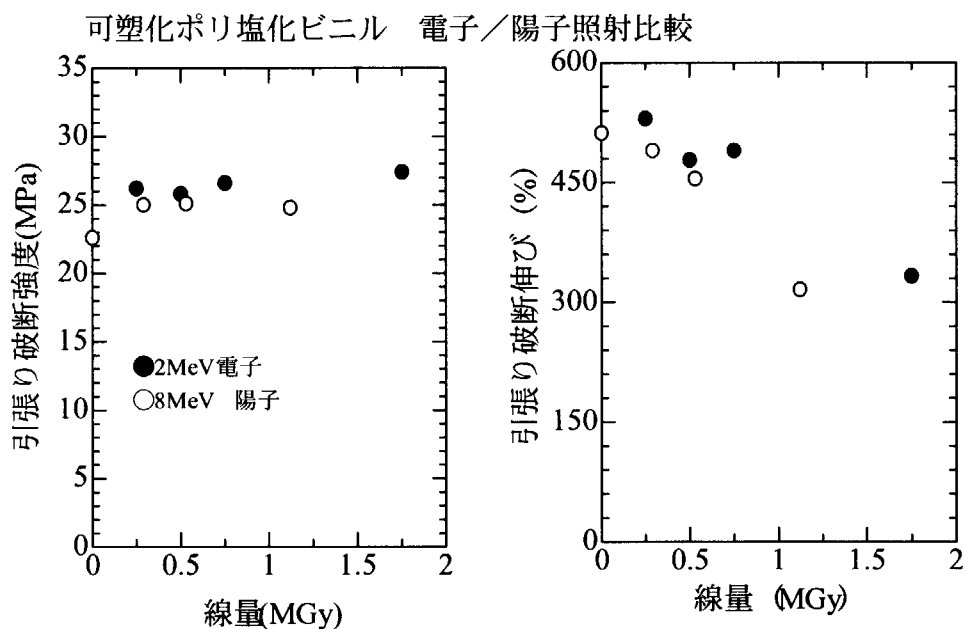
エチレン-酢酸ビニル共重合体 (EVA) 電子/陽子照射比較



データシート No Ion-7
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)"

材料名	可塑化ポリ塩化ビニル
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	理研サイクロトロン 8 MeV 陽子 13 nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 2.5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			8MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	22.6 \pm 0.54	512 \pm 8	0.00	22.6 \pm 0.5	512 \pm 8
0.25	26.2 \pm 0.3	530 \pm 10	0.29	25.0 \pm 0.6	490 \pm 21
0.50	25.8 \pm 1.0	478 \pm 21	0.53	25.1 \pm 0.5	455 \pm 11
0.75	26.6 \pm 0.8	490 \pm 14	1.12	24.8 \pm 06	316 \pm 12
1.75	27.4 \pm 1.5	333 \pm 21			
2.25	27.4 \pm 0.9	280 \pm 19			

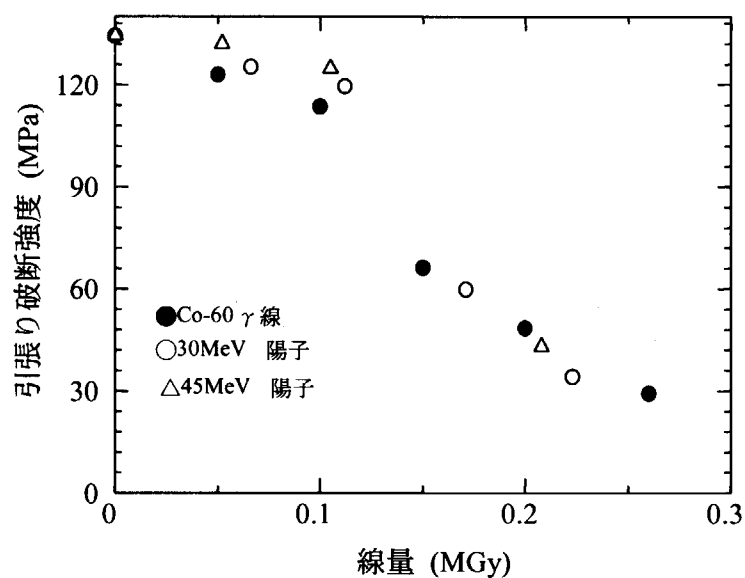


データシート No Ion-8
 出典: Polymer, 37, 2903 (1996)

材料名	ポリメチルメタクリレート(PMMA)
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	原研 TIARA サイクロトロン30, 45 MeV 陽子 3nC/cm ² /s
γ ・電子照射	γ 線 5kGy/h 空中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

γ 線 真空中		30MeV 陽子		45MeV 陽子	
線量 MGy	曲げ強度 MPa	線量 MGy	曲げ強度 MPa	線量 MGy	曲げ強度 MPa
0.000	134.4	0.000	134.4	0.000	134.4
0.050	123.0	0.066	125.3	0.052	132.0
0.100	113.6	0.112	119.6	0.105	124.7
0.150	66.2	0.171	59.8	0.208	43.0
0.200	48.4	0.223	34.2		
0.260	29.2				

ポリメチルメタクリレート (PMMA) 電子/陽子照射比較

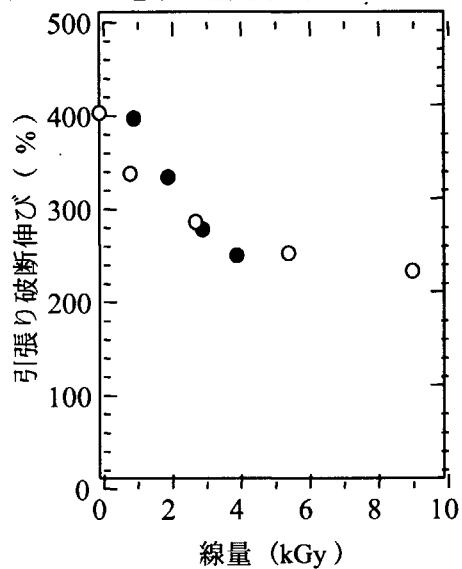
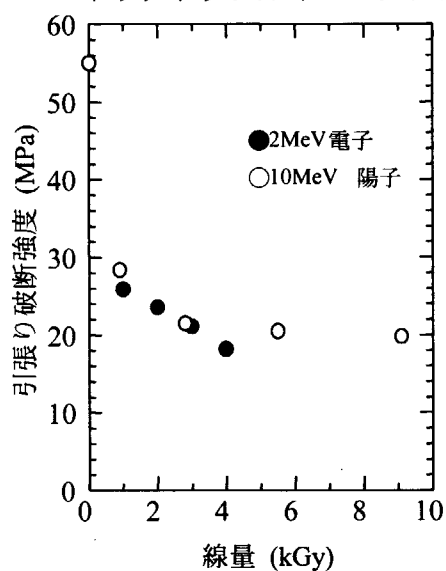


データシート No Ion-9
 出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	ポリテトラフルオロエチレン(PTFE・テフロン)
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	原研 TIARA サイクロトロン30, 45 MeV 陽子 3nC/cm ² /s
γ ・電子照射	γ 線 5kGy/h 空中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中			10MeV 陽子 真空中		
線量 kGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 kGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.0	55.0	392	0.0	55.0	392
1.0	25.9 \pm 2.2	386 \pm 24	0.9	28.4 \pm 2.4	327 \pm 31
2.0	23.6 \pm 3.5	323 \pm 9	2.8	21.5 \pm 1.3	275 \pm 16
3.0	21.1 \pm 0.8	267 \pm 11	5.5	20.5 \pm 0.4	241 \pm 12
4.0	18.2 \pm 1.9	239 \pm 11	9.1	19.8 \pm 0.5	222 \pm 9

ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 電子/陽子照射比較



データシート No Ion-10
出典: Polymer, 30, 2054 (1989)

材料名	中密度 ポリエチレン M16P
形状	厚さ100 μ m, ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	原研 TIARA サイクロトロン 10 MeV 陽子、20MeV He ²⁺ 50MeV He ²⁺ 5nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

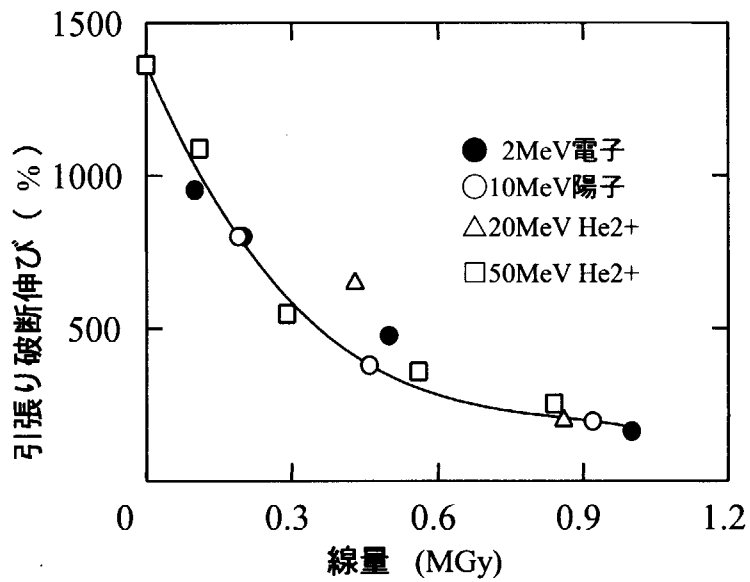
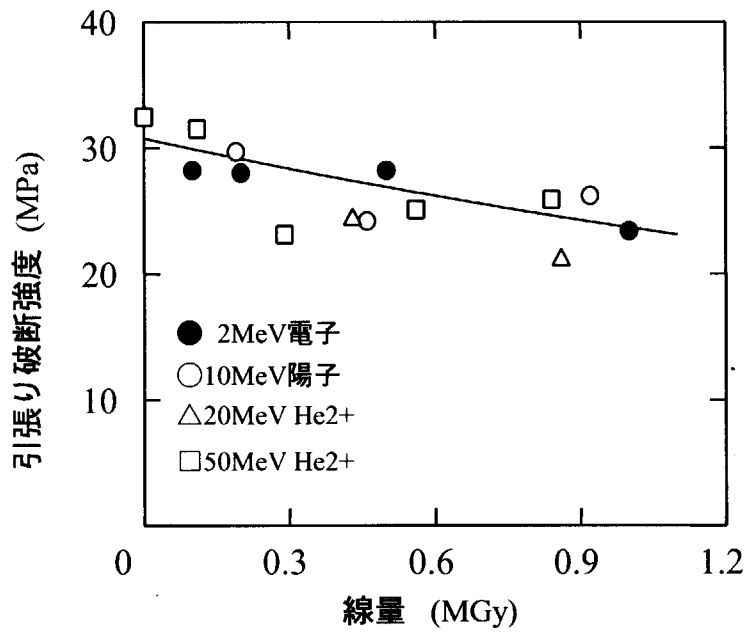
2MeV 電子 真空中照射			10MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	32.5 \pm 1.7	1362 \pm 58	0.00	32.5 \pm 1.7	1362 \pm 58
0.10	28.2 \pm 1.8	953 \pm 109	0.87	29.7 \pm 4.3	800 \pm 79.9
0.20	28.0 \pm 5.0	80 \pm 131	0.46	24.2 \pm 4.3	379 \pm 63
0.50	28.2 \pm 3.0	476 \pm 49	0.92	26.2 \pm 2.3	195 \pm 10
1.00	23.4 \pm 2.8	162 \pm 52	1.35	27.7 \pm 1.4	141 \pm 9

20MeV He 真空中照射			50MeV He 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	32.5 \pm 1.7	1362 \pm 58	0.00	32.46 \pm 1.65	1362 \pm 58
0.43	24.3 \pm 2.7	646 \pm 88	0.11	31.5 \pm 4.1	1088 \pm 92
0.86	21.1 \pm 1.1	197 \pm 24	0.29	23.1 \pm 2.0	547 \pm 57
			0.56	25.1 \pm 1.87	358 \pm 32
			0.84	25.9 \pm 3.0	253 \pm 30

プロットは次ページ

ポリエチレンのイオン照射 プロット

中密度ポリエチレン (MDPE) 電子/イオン照射効果



データシート No Ion-11
出典; Polymer, 30, 2054 (1989)

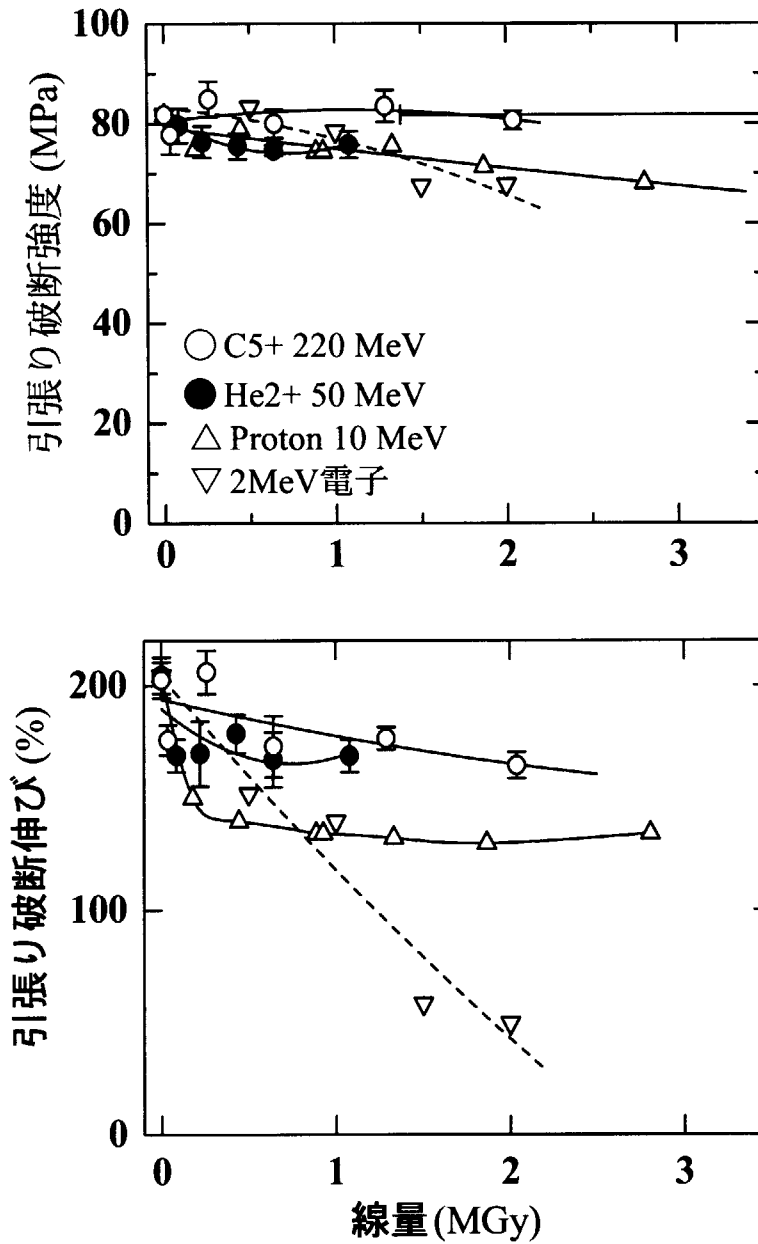
材料名	ポリエーテルスルホン(PES)
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	原研 TIARA サイクロトロン 10 MeV 陽子、20MeV He ²⁺ 50MeV He ²⁺ 5nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			10MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	81.7 \pm 1.4	204 \pm 8	0.00	81.7 \pm 1.4	204 \pm 8
0.50	83.3 \pm 5.0	152 \pm 21	0.18	74.8 \pm 3.2	150 \pm 7
1.00	77.9 \pm 5.7	139 \pm 34	0.44	75.8 \pm 1.3	140 \pm 5
1.50	67.5 \pm 2.3	58 \pm 18	0.89	73.3 \pm 1.1	140 \pm 2
2.00	67.8 \pm 2.0	50 \pm 6	0.93	74.4 \pm 2.8	134 \pm 3
			1.33	71.6 \pm 4.3	135 \pm 30
			1.87	71.4 \pm 1.9	130 \pm 6
			2.81	68.0 \pm 3.5	134 \pm 19

50MeV He 真空中照射			220MeV 炭素 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	81.7 \pm 1.4	204 \pm 8	0.00	81.7 \pm 1.4	204 \pm 8
0.09	79.6 \pm 3.4	169 \pm 7	0.03	77.7 \pm 3.9	176 \pm 7
0.22	76.3 \pm 3.1	170 \pm 14	0.26	84.9 \pm 3.6	206 \pm 10
0.43	75.5 \pm 2.6	179 \pm 9	0.64	80.5 \pm 2.9	173 \pm 14
0.64	74.7 \pm 1.0	167 \pm 12	1.29	83.5 \pm 3.2	176 \pm 5
1.08	57.8 \pm 2.6	169 \pm 7	2.04	80.6 \pm 1.9	163 \pm 6

プロットは次ページ

ポリエーテルスルホンのイオン照射 プロット



データシート No Ion-12
出典: Polymer, 30, 2054 (1989)

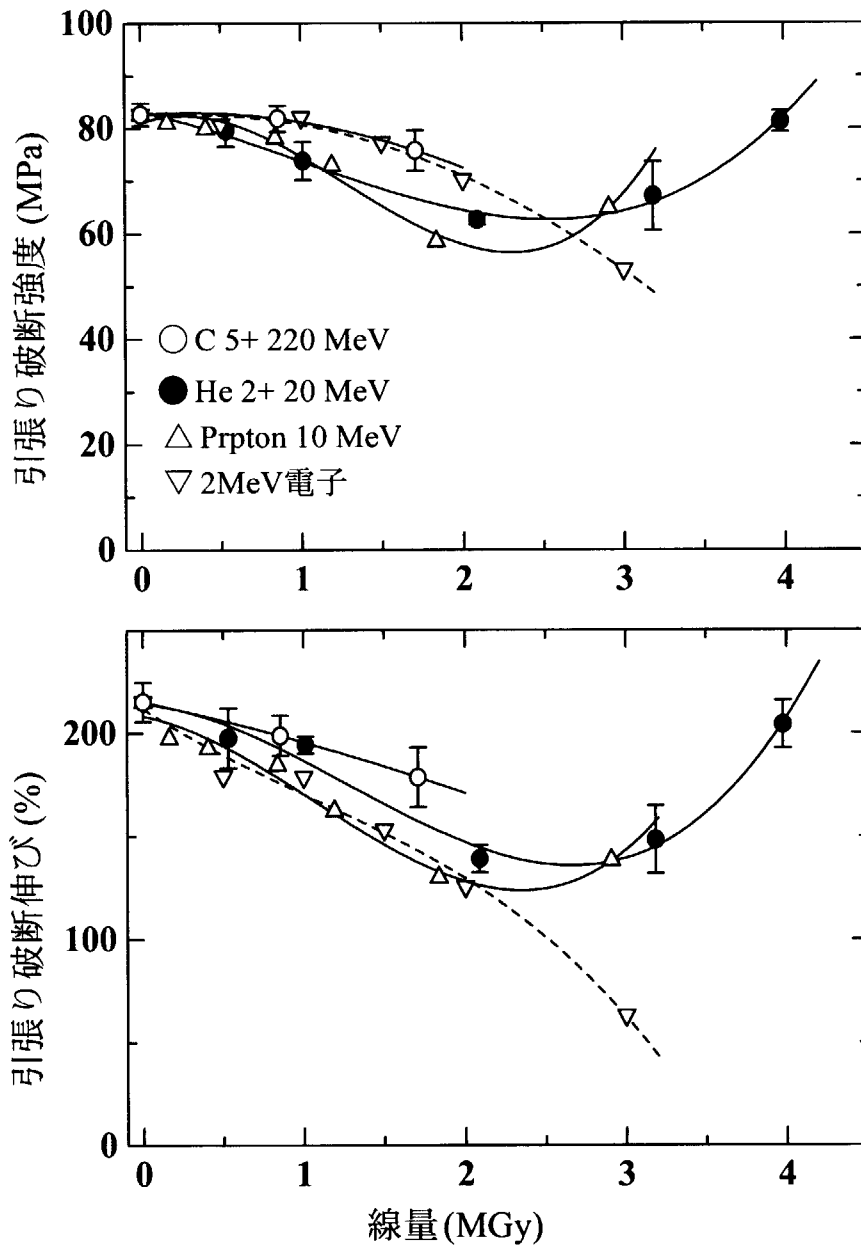
材料名	ユーデルポリスルホン(U-PS)
形状	厚さ100 μ m、ASTM 1822 ダンベルに切り出し
イオン照射	原研 TIARA サイクロトロン 10 MeV 陽子、20MeV He ²⁺ 50MeV He ²⁺ 5nC/cm ² /s
γ ・電子照射	電子線 5kGy/s ヘリウム気流中
測定	引張り試験(室温、引張り速度;200mm/min)

2MeV 電子 真空中照射			10MeV 陽子 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	82.7 \pm 2.1	215 \pm 10	0.00	82.7 \pm 2.1	215 \pm 10
0.50	80.8 \pm 2.7	179 \pm 9	0.17	81.1 \pm 3.9	198 \pm 18
1.00	82.1 \pm 4.1	179 \pm 17	0.41	80.0 \pm 2.9	193 \pm 11
1.50	77.3 \pm 2.4	153 \pm 9	0.84	78.2 \pm 3.06	180 \pm 18
2.00	70.2 \pm 4.9	125 \pm 24	1.19	73.0 \pm 2.84	162 \pm 12
			1.83	58.6 \pm 2.9	130 \pm 6
			2.91	64.9 \pm 4.3	138 \pm 20

20MeV He 真空中照射			220MeV 炭素 真空中照射		
線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %	線量 MGy	破断強度 MPa	破断伸び %
0.00	82.7 \pm 2.1	215 \pm 10	0.00	82.7 \pm 2.1	215 \pm 10
0.53	79.6 \pm 3.0	198 \pm 15	0.85	81.8 \pm 2.5	199 \pm 10
1.01	73.9 \pm 3.6	194 \pm 4	1.71	75.8 \pm 3.8	179 \pm 15
2.09	62.7 \pm 0.9	139 \pm 7			
3.19	67.2 \pm 6.6	148 \pm 16			
3.98	81.3 \pm 2.0	204 \pm 12			

プロットは次ページ

ユーデルポリエーテルスルホンのイオン照射 プロット



9. 発生ガス

高分子系材料は、放射線照射により分解ガスが発生する。水素が発生ガス中に占める割合が高いが、ポリ塩化ビニルからは塩化水素が、テフロンからはフッ化水素、ポリスルホンからは二酸化硫黄等の腐食性ガスが発生する。材料選択においても考慮すべき項目である。

ここでは、脂肪族系の高分子の代表として、エチレン-プロピレン共重合体、芳香族系高分子として3種類のポリイミド、PEEK、ポリスルホンのデータを収録する。また、極低温(77K)における発生ガスがどう変わるかのデータを収録した。

結果的には、ポリイミド、PEEKの様な耐放射線性が高い高分子のガス発生は、脂肪族高分子の二桁以上少ないが、同じ芳香族高分子でもポリスルホンのガス発生G値は、ポリイミド、PEEKに比べて一桁高い。

また、極低温照射では水素の発生G値は室温のそれと大きく変わらないが、メタン、二酸化炭素の発生が抑えられる。

データシート No Gas-1

出典; JAERI-memo 01-333(1989)

ポリエチレン及びポリプロピレンのモデル物質としてのn-パラフィンとスクオラン(*)の
真空中 γ 線照射によるガス発生G値

	照射温度	相	G(H ₂)	G(CH ₄)	G(C ₂ H ₆)	G(C ₂ H ₄)
n-C ₂₃ H ₅₀	-77°C	結晶	2.16	0.017	0.008	0.000
	25	結晶	2.52	0.020	0.008	0.000
	55	液体	3.22	0.031	0.045	0.010
C ₃₀ H ₆₂ *	-77°C	ガラス	2.79	0.125	0.003	0.001
	25	液体	3.27	0.164	0.005	0.007
	55	液体	3.26	0.165	0.005	0.007

* 一つおきの炭素にメチル分岐を持つ化合物(ポリプロピレンのモデル)

Radiat. Phys. Chem., 32, 753(1988)

低密度PEの γ 線照射によるガス発生

Gas Component	無添加		耐放射線性助剤添加(7phr)	
	ガス組成(%)	G値	ガス組成(%)	G値
H ₂	97.400	3.380	98.700	1.670
C ₂ H ₆	1.000	0.035	0.364	0.006
C ₄ H ₁₀	0.792	0.028	0.289	0.005
C ₅ H ₁₂	0.230	0.008	0.097	0.002
CH ₄	0.167	0.007	0.152	0.003
C ₂ H ₄	0.124	0.004	0.132	0.002

電気学会絶縁材料研究会資料(EIM-76-36(1976))

"ポリエチレンの耐放射線性に及ぼす添加剤効果"

PEの酸素存在下での γ 線照射による酸素消費のG値
及びガス発生G値

Gas Component	PE-1 d = 0.919	PE-2 d = 0.960	PE-3 超高分子量	EP07P EPゴム
G(-O ₂)	14	18.4	17.6	8.3
G(H ₂ O)	4.2	4.8	4.7	2.1
G(CO ₂)	1.25	2.6	3.4	0.59
G(CO)	0.43	0.82	0.63	0.12
G(H ₂)	3.1	3.3	3.8	3.5
G(CH ₄)	0.39	0.03	0.06	0.04
G(C ₂ H ₆)	0.5	-	-	0.08
G(C ₂ H ₄)	-	-	-	0.02

J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed., 20, 2681(1982)

データシート No Gas-2

出典: 表の下に記述

真空中照射によるアイソタクチックPP(I-PP)と
アタクチックPP(A-PP)からのガス発生G値

Gas Component	IPP		APP
	Powder	Film	Film
G(total)	3.3	3	2.5
G(H ₂)	3.0	2.7	2.4
G(CH ₄)	0.090	0.080	0.006
G(CO ₂)		0.010	0.006
G(CO)			0.003

JAERI-memo 01-333(1989)

ポリプロピレンの酸素中照射における
酸素の消費と発生ガスのG値

Gas Component	IPP		APP
	Powder	Film	Film
G(-O ₂)	49.0	17.0	25.6
G(H ₂)	3.0	3.1	2.3
G(CH ₄)	0.110	0.090	0.090
G(CO)	1.000	0.400	0.400
G(CO ₂)	0.930	0.600	3.700

JAERI-memo 01-333(1989)

エチレン-プロピレン-ジエン共重合体EPDMの
真空中照射における発生ガスのG値

	EP 11	EP 22	EP 33	EP 43
プロピレン含量	50wt%	42	43	43
ジエン含量	0wt%	5	8.7	2
G(total)	3.3	2.4	2.1	3
G(H ₂)	3.2	2.3	2	2.9
G(CH ₄)	0.034	0.077	0.068	0.077
G(C ₂ H ₄)	0.009	0.006	0.005	0.006
G(C ₂ H ₆)	0.004	0.004	0.001	

JAERI-memo 01-333(1989)

データシート No Gas-3

出典; 表の下に記述

エチレン-プロピレン-ジエン共重合体EPDMの
真空中照射における発生ガスのG値

	EP 11	EP 22	EP 33	EP 43
プロピレン含量	50wt%	42	43	43
ジエン含量	0wt%	5	8.7	2
G(-O ₂)	11.5	36.2	60.3	19.7
G(H ₂)	2.9	1.9	1.8	2.8
G(CH ₄)	0.063	0.029	0.019	0.063
G(C ₂ H ₆)	0.001	0.001	-	0.001
G(C ₂ H ₄)	0.001	0.001	-	0.001
G(CO)	0.03	0.48	0.53	0.39
G(CO ₂)	1.4	3.3	5.8	2.1

JAERI-memo 01-333(1989)

酸化防止剤を含むEPDMの真空中照射における
発生ガスのG値

Gas Component	Pure (0 phr)	NBC (1 phr)	DPPD (1 phr)	I-1010 (1 phr)
G(total)	3.5	3.5	3.3	3.5
G(H ₂)	3.5	3.5	3.2	3.4
G(CH ₄)	0.087	0.056	0.052	0.06
G(C ₂ H ₄)	0.004	0.004	0.003	0.004
G(C ₂ H ₆)	0.008	0.008	0.008	0.008

JAERI-memo 01-333(1989)

純ポリ塩化ビニル(PVC)パウダー及び配合PVCフィルムに
真空中及び酸素存在下で 200kGy 照射したときの
発生ガスのG値

Gas Component	Pure PVC	配合 PVC	Pure PVC	配合 PVC
	真空中		酸素中(500torr)	
G(Total)	7.1	0.340	20.0	5.9
G(H ₂)	0.230	0.170	0.110	0.200
G(CH ₄)	0.003	0.010	0.007	0.011
G(CO)	0.002	0.013	1.000	0.270
G(CO ₂)	0.040	0.040	3.600	0.520
G(HCl)	6.8	0.030	15.0	5.0
G(C ₂ H ₆)	-	-	-	-
G(-O ₂)	-	-	29.0	11.0

J. Appl. Polym. Sci., 26, 2947(1981)

データシート No Gas-4
出典; 表の下に記述

ポリ塩化ビニル(PVC)パウダーに真空中及び酸素存在
下で 10kGy の γ 線照射したときの発生ガス量

Gas Component	Pure PVC mol/g		耐放射線性配合PVC mol/g	
	in Vac	in O ₂	in Vac	in O ₂
Total gas	8.8×10^{-6}	-	1.1×10^{-6}	-
-O ₂	-	3.9×10^{-5}	-	6.8×10^{-6}
H ₂	2.3×10^{-7}	1.5×10^{-7}	1.6×10^{-7}	2.0×10^{-7}
HCl	8.0×10^{-6}	1.9×10^{-5}	8.8×10^{-8}	1.9×10^{-7}
CO	1.1×10^{-8}	9.5×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.8×10^{-7}
CO ₂	1.8×10^{-8}	2.2×10^{-6}	7.3×10^{-7}	1.4×10^{-6}
CH ₄	-	1.2×10^{-8}	4.5×10^{-9}	1.8×10^{-8}
C ₂ H ₆	-	-	1.8×10^{-9}	6.0×10^{-9}
C ₂ H ₄	-	-	-	-

Radiat. Phys. Chem., 27, 157(1986)

クロルスルホン化ポリエチレン(SCM)パウダーに真空中
及び酸素存在下で 10kGy の γ 線照射したときの
発生ガス量

Gas Component	Pure SCM mol/g		耐放射線性配合SCM mol/g	
	in Vac	in O ₂	in Vac	in O ₂
Total gas	4.7×10^{-6}	-	4.5×10^{-6}	-
-O ₂	-	1.2×10^{-5}	-	3.2×10^{-6}
H ₂	6.0×10^{-7}	5.2×10^{-7}	3.0×10^{-7}	3.0×10^{-7}
HCl	2.2×10^{-6}	5.0×10^{-6}	-	-
CO	1.1×10^{-8}	1.5×10^{-7}	3.9×10^{-9}	2.0×10^{-8}
CO ₂	4.5×10^{-7}	1.6×10^{-6}	1.5×10^{-7}	2.5×10^{-7}
G(CH ₄)	-	-	1.4×10^{-9}	1.8×10^{-9}
SO ₂	1.9×10^{-6}	8.2×10^{-7}	-	-

Radiat. Phys. Chem., 27, 157(1986)

データシート No Gas-5
 出典; 表の下に記述

加速器周辺で使用される高分子のガス発生量

材 料	ガス発生量 (ml/g/10MGy)	ガ ス 組 成
PE	70	H ₂ +CH ₄ (97%), C ₃ H ₈ (3%)
PMMA	30~35	H ₂ , CO, CH ₄ (76%)
PVC	6~6	HCl, H ₂
ポリアミド	20~25	H ₂ (52%), CO(20%), CO ₂ (12%), N ₂ (8%), O ₂ (3%)
天然ゴム	7	H ₂ +CH ₄ (95%)
ニトリルゴム	5	NH ₃ (8%), H ₂ (24%), C ₂ N ₂ (68%)

Selection Guide to Organic Matrials fot Nuclear Engineerig,
 CERN 72-7(1972)

各種ポリアミド及び芳香族高分子のの真空中γ線照射における発生ガスのG値

Polymer	G 値 (10 ⁻⁴)						
	Total	H ₂	SO ₂	N ₂	CO	CO ₂	CH ₄
Kapton	24	3.2	-	5.1	5.4	8.1	0.96
Upilex-R	22	0.39	-	9.7	2.4	4.8	1.09
Upilex-S	91	7.5	-	14	14	15	0.29
PEEK-a	54	14	-	-	6	24	0.31
PEEK-c	39	6.4	-	-	12	4.3	0.15
PES	46	7.1	12	-	16	19	0.3
U-PS	150	39	13	-	19	25	16

Polymer, 33, 2897(1992)

ポリメチルメタクリレートの極低温度における発生ガスのG値

照射温度	G 値				
	Total	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄
室温	1.3	0.27	0.33	0.047	0.038
77K	0.6	0.25	0.023	0.011	0.003

Radiat. Phys. Chem., 48, 95(1996)

DGEBA/DICYガラス繊維強化プラスチックの
 極低温度における発生ガスのG値

照射温度	G 値				
	Total	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄
室温	0.39	0.042	0.019	0.015	0.004
77K	0.15	0.029	0.001	0.002	-

Radiat. Phys. Chem., 48, 95(1996)

謝辞・あとがき

本資料をまとめるにあたり、(財)放射線利用振興協会の御協力をいただいた。また、資料の編纂、データの見直しなど資料全般の整備について 1998 年まで原研・高崎研究所で高分子系材料の放射線照射効果を研究して活躍して居られた理学博士・貴家恒男(さすがつねお)氏に多大なる御協力を頂戴した。ここに深く感謝の意を表します。さらに、材料用語集の巻頭でも述べたが、用語について駒沢化成(株)には資料引用を快諾して戴いた。深く感謝いたします。

本資料をまとめるきっかけとなったのは、平成 14 年度初めに開催した大強度陽子加速器計画施設建設プロジェクトチームの耐放射線材料検討会における議論からである。プロジェクトチーム各グループでそれぞれ進められていた各種材料の照射試験データの公表に併せて、既報の確実な耐放射線特性データを使い易くまとめるべきであるとの意見から、本資料作成作業が開始された。高分子系材料については一通りの種類の材料についての耐放射線特性をまとめられたと考えている。本資料の利用にあたっては、巻頭のまえがきにも述べたが、実使用環境条件と放射線の種類、エネルギー、強度等を十分に考慮してからの材料特性判断を行うようお願いしたい。

平成 15 年 5 月

大強度陽子加速器施設開発センター
計画グループ

【付録：高分子系材料用語集】

本資料の耐放射線特性データ集を参照する上で必要な、各材料の特徴・構成等についての説明と、関連する用語についてここにまとめた。

本用語集はインターネット(Web)上の駒沢化成株式会社ホームページにある『プラスチックの知恵袋』<< <http://www.nc-net.or.jp/plastics/> >>から、同社の了解を得て抜粋・引用させて戴いた。ここに深く感謝の意を表します。

ABS樹脂（アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂）

アクリロニトリル(A)ブタジエン(B)スチレン(S)の3つの単量体からなるポリマー、それぞれの単量体の頭文字をとりABS樹脂という。特にブタジエン(B)の比率をかえることにより、性質は大幅に変化し、高衝撃品種から高剛性品種までできる。特殊グレードとして耐熱、透明、メッキ用のグレードがある。

BMC成形（バルクモールドニングコンパウンド成形）

チョップドストランドを主体として強化繊維基材と、マトリックスをあらかじめ混練した塊状の成形材料BMCを用い、加熱した金型へチャージして型締を行ない成形する方法をいう。

CFRP（炭素繊維強化プラスチック）

樹脂に炭素繊維を添加することにより、材料の剛性、強さおよび熱変形温度の向上を目的として強化された材料をいう。通常添加する繊維の長さ、配合比率、成形品の分散、配向などにより物性強度が変化する。

EPDM（エチレンプロピレンジエン三元共重合体）

Ethylene Propylene Diene Methylene Linkageの略。エチレンとプロピレン系に第三成分として非共役ジエン類を加えて得られる三元共重合体をいう。この内、エチレンが30%~70%、ジエン類が5%~10%を含むゴム状弾性体は合成ゴムとして有用な性質を持つ。すなわち、硫黄、過酸化物、キノイド類などで加硫することができ、熱安定性、耐老化性などに優れているのが特徴である。用途としては、電線被覆材、各種工業用品などに用いられている。

EPM（エチレンプロピレンゴム）

Ethylene Propylene Methylene Linkageの略。エチレンとプロピレンとの共重合によって得られる合成ゴムの一種で、Mは分子内にメチレン結合を含むことを示す記号である。このゴムは天然ゴムや他の合成ゴムよりも著しく耐老化性に優れているのが特徴であるが、分子内に不飽和結合を含まないので硫黄加硫が行えず、過酸化物によって加硫しなければならない。用途としては、電線被覆材、ゴムタイヤ、ホースなど通常のゴム製品とほぼ同様の分野で使用されている。

EVA（エチレン酢酸ビニル共重合体）

エチレンと酢酸ビニルを共重合した熱可塑性樹脂でEVAと呼ばれる。通常酢酸ビニル含量40%程度までのものが用いられる。酢酸ビニル含量の少ないものは低密度ポリエチレンに近い性質を示すが、より強靱性を示す。酢酸ビニル含量が多くなるに従って柔軟性を増し、ゴムに近い性質を示すようになる。JIS K 6731にその品質規格が表示されている。酢酸ビニル含量の少ないものは低密度ポリエチレンと同様の用途に使用されるが、酢酸ビニル含量の多いものは履物やレザーなどの雑貨やホットメルト接着剤などの用途に使用される。

GFRP (ガラス繊維強化プラスチック)

樹脂にガラス繊維を添加することにより、材料の剛性、強さおよび熱変形温度の向上を目的として強化された材料をいう。通常添加する繊維の長さ、配合比率、成形品の分散、配向などにより物性強度が変化する。

F RTP (繊維強化プラスチック)

熱可塑性樹脂の性質を特に損なうことなく、機械的、熱的性質、寸法安定性の改良を目的としてガラス繊維やアスベスト繊維など繊維状物を添加した強化プラスチックをいう。

HDPE (高密度ポリエチレン)

金属酸化物、アルキルアルミニウムなどを触媒として、常圧またはわずかな加圧下で重合したポリエチレンで密度0.94~0.96のものをいう。耐衝撃性、耐薬品性、耐候性が良く射出流動性に優れ、PPに比べこわさ、強さが劣り成形収縮率が大きい。

ICI法

純粋にしたエチレンに少量の酸素あるいは過酸化物を触媒として加え、2000気圧程度の高圧下で重合させてポリエチレンを得る方法をいう。この重合法はポリエチレンの工業的生産法として1930年代にイギリスのICI社(Imperial Chemical Industry Ltd)がはじめて開発した有名な方法なのでこの名で呼ばれることが多い。高圧を利用するので高圧法とも呼ばれる。現在では世界的に見てもポリエチレンの生産法の主流を占めている生産方法である。この方法によると主として低密度ポリエチレンが得られる。

LCP (液晶ポリマー)

液晶構造を発現する高分子の総称。高分子液晶も低分子液晶と同じくある温度範囲で(サーモトロピック)液晶性あるいは溶液状態で(リオトロピック)液晶性を示すものに分類される。さらに液晶ポリマーは、その液晶構造の発現のもととなるメソゲン基が直接主鎖にのみ入ったもの(主鎖型液晶ポリマー)、側鎖にのみ入ったもの(側鎖型液晶ポリマー)、あるいはその両者に入ったもの(複合型液晶ポリマー)に分類される。現在実用化されている液晶ポリマーは、リオトロピック液晶ポリマーでは代表的なものに、ケブラーに代表される全芳香族ポリアミドであり、サーモトロピック液晶ポリマーでは代表的なものに、ザイダーやベクトラに代表される全芳香族ポリエステルがある。液晶ポリマーの特徴はその剛直鎖の配向に起因し、一般に耐熱性、すぐれた強度特性、低熱膨張性および配向状態を得やすいことであり、これらの性質を利用して、高強度、高弾性率の繊維としての応用や、成形品として前述の特性を利用し電気、電子部品などに使用されている。

LDPE (低密度ポリエチレン)

酸素を触媒として1000気圧以上の高圧で重合したポリエチレン、密度は0.91~0.93のものをいう。耐衝撃性、耐薬品性に良く射出流動性も良いが、こわさ、強さ及び耐熱変形性が低い。

PA (ポリアミド)

アミド基でアルキレン基が結合したものが多数集って出来た線状合成高分子物質をいう。一般的に摩擦係数が小さく自己潤滑性があり、耐摩耗性に優れ、耐衝撃性大、耐薬品性、耐溶剤性が良く、反面、吸水性大で寸法安定性が悪い。ナイロン6 ナイロン66 ナイロン11 ナイロン12 等がある。

PAI (ポリアミドイミド)

ポリアミドイミドはジアミンとトリメリット酸の縮合によって製造される。耐熱性がすぐれ、強靱であり、耐衝撃性も良好で、フィルムなどはフレキシブルである。難燃、低摩擦、低摩耗、耐疲労性にすぐれ、電気、機械部品のほか、フィルム、接着剤、エナメルに用いられる。

PAR (ポリアリレート)

ポリアリレートは、わが国で開発されたポリエステル的一种でポリエステルの中では耐熱性が高い(175℃)。耐衝撃性で弾性も有し、吸湿性は小さい。耐薬品もあり、難燃で、汎用エンブラより上位のエンブラと考えられている。透明で無毒のため薬品容器、義歯など医学的用途もあるが、現在の主要な用途としては、電気、機械部品が多く、ランプカバー、カメラ部品、メガネ枠に用いられる。

PBT (ポリブチレンテレフタレート)

テレフタル酸とブタンジオールから縮合重合で製造された新しい熱可塑性ポリエステル樹脂。機械的性質、高い熱変形温度、耐摩耗性など、ポリアミド、ポリアセタール並みの性質を有し、また吸水率も小さく耐油性に優れているが、強酸、強アルカリ、熱水に弱く衝撃強度のノッチ感度が高い点などの欠点がある。

PC (ポリカーボネート)

ビスフェノールAとホスゲンの縮合重合によって造られる樹脂で強靱で透明性、耐熱性、寸法安定性、難燃性などに優れ、特に衝撃強度は熱可塑性樹脂でも最高に近い値を示す。耐化学薬品性、耐ストレスクラッキング性に弱点がある。炭酸エステル結合をもつため、水分があると熔融時に分解を起こすことがあり、成形品の外観、品質はもとより成形上のトラブルを生ずるので使用に際しては乾燥を必要とする。

PE (ポリエチレン)

エチレンを重合した熱可塑性樹脂をポリエチレン (PE) といい、分岐度、分岐の種類、分布などにより密度や特性が変わる。一般に密度を基準にして高密度ポリエチレン=HDPE (0.941~0.965)、中密度ポリエチレン=MDPE (0.926~0.940)、低密度ポリエチレン=LDPE (0.910~0.925)、超低密度ポリエチレン=ULDPE (0.985~0.909) に分類されている。又、エチレンとオレフィンの共重合により作られた低密度ポリエチレンを線状低密度ポリエチレン=L-LDPE と呼んでいる。一般に中密度ポリエチレン以下を軟質で高密度ポリエチレンを硬質としている。また、製造法から見るとラジカル重合開始剤を使用し、500~7000気圧の高圧を使用して合成する高圧法。金属酸化物系触媒を使用し、30~40気圧の中圧を使用して合成する中圧法。チグラ系触媒を使用し、10気圧以下の低圧を

使用して合成する低圧法に分類されている。高圧法低密度ポリエチレンは、原料としてエチレンのみを使用し、重合中の連鎖移動反応で分岐を作るが、他は α オレフィンの共重合により、短鎖分岐数を調整し密度を制御する。ポリエチレンの物性に影響を与える主たる因子は、分子量、分子量分布、分岐の数、種類その分布などの構造因子であり、これらの変化によりいろいろな特性を有するポリエチレンが得られる。また、新しい製造法として従来まで低密度ポリエチレンの製造には1000気圧以上の高圧を使用して合成する方法が主流だったが、エネルギー消費が少なく中低圧でエチレンとブテン-1などのコモノマーを共重合させ、低密度ポリエチレンと類似した性質をもつ直鎖状低密度ポリエチレンの製造法が開発され、現在の日本では低密度ポリエチレンのうち4割近くがこの製造法で生産されるようになった。ポリエチレンの用途として、低密度ポリエチレンは各種包装用のフィルム・ラミネート、包装用中空容器、軟質成形品およびパイプ・電線被覆等で、高密度ポリエチレンは包装用フィルム、各種瓶および中空、各種コンテナなどの成形品および工業用フィラメント などである。

PEEK (ポリエーテルエーテルケトン)

ポリエーテルエーテルケトンは耐熱性が高く、240℃で長時間使用できる。また難燃性で、耐薬品性も良く、耐熱水性もよい。耐熱性は熱可塑性樹脂の中で最高クラスに属する。また摩耗特性も良好である。フィルム、モノフィラメントの応用がみられる。このほかコーティングも行なわれる。放射線にも強い。

PEK (ポリエーテルケトン)

ポリエーテルケトンはPEEKに似ているが、PEEKよりさらに耐熱性が高い(約20℃~30℃高い)。性質はPEEKに似る。

PES (ポリエーテルスルホン)

ポリエーテルスルホン(PES, PESF)はポリスルホンより耐熱性が高く、スーパーエンブラに属する。耐熱性は熱可塑性樹脂の中では、最高クラスに属し、また耐衝撃性も大きい。耐薬品性も良く、無毒である。耐熱水性もすぐれ、難燃性である。用途としては、電気、機械部品、医用機器、食品分野に用いられ、塗料としても用いられる。

PETボトル (ペットボトル) (PET: ポリエチレンテレフタレート)

PETボトルは、透明性と適度のガスバリアー性をもってあり、またガラスびんに比べて耐衝撃性、軽量性に優れているため、炭酸飲料、果汁飲料、生ビール用の大型ボトルやソース、ドレッシング、食用油、日本酒、化粧品、シャンプー、洗剤、医薬品などの容器として多用される。PETの熔融粘度は低いいため、押出ブローではドロダウンドアウンが問題となる。そのため射出成形によりプリフォームを製作し、融点以下の低温でブロー成形を行う射出延伸ブロー成形法が用いられる。小型容器や内容品が酸素によりフレーバーが悪化する内容品、たとえばビール、ワイン、高濃度果汁などの場合、ガスバリアー性が要求される。PETボトルのハイガスバリアー化は現在、PVDCコーティングやMXD6ナイロンとの共射出成形による多層化により行なわれている。

PI (ポリイミド)

ポリイミドは二無水酸とジアミンとの縮合体のほか、ビスマレイミドとジアミンとの反応によるものなどがある。いずれも耐熱性は非常に高いのであるが、耐衝撃性などが小さいため、炭素繊維やガラス繊維を加えて用いる。難燃性である。用途として、プリント基盤、絶縁材料、軸受などに用いられる。ビスマレイミドにジイソシアネートを反応させたビスマレイミド・トリアジン樹脂(BT)も耐熱性樹脂である。用途として、電気、機械部品のほかワニス、塗料、接着剤にも用いられる。

PMMA (ポリメタクリル酸メチル)

メタクリル酸メチルの重合体であるが、メタクリル酸メチルを主成分とする共重合体も含め、一般にメタクリル樹脂という。ラジカル開始剤の存在下で塊状、溶液、懸濁、乳化重合などにより作られる。その特徴は、無色透明で耐候性もすぐれており、塊状重合体から作られた板は、光学レンズ、風防ガラスなどとして利用され、照明器具、看板などの表示材料としても使用されている。さらに高級日用雑貨としても使用されるほか、塗料、接着剤として共重合体が使われている。JIS K 6717 は成形材料の品質を規定している。PMMAと略称されている。

PMP (ポリメチルペンテン)

ポリメチルペンテンは透明であるが、結晶性である。性質はPPに似ているが比重は最小(0.83)で、耐熱性がPPより30℃~40℃高く、耐油性もPPよりよい。耐薬品性にすぐれ、耐クリープ性もよい。比較的柔らかいが、温度が高くなっても変形が起りにくく、PPとの間には差がある。無毒であり、医用機器に用いられる。その他の用途として、電気絶縁材料、離型紙、食器、電子レンジ用トレイ、実験器具、動物飼育箱、ペーパーコートなどがある。

POM (ポリアセタール)

ホルムアルデヒドを主原料として得られる重合体である。機械的性質、耐熱性に優れ自己潤滑性を有し、耐摩擦摩耗性および耐疲労性については抜群の性能を誇る。耐酸、アルカリ性に劣り、耐候性にもやや劣る。吸湿性は少ないが成形機内で長時間滞留し高温にさらされると熱分解が起こり、ホルムアルデヒドガスの発生があり危険である。

PP (ポリプロピレン)

プロピレンを主体とする重合体をいう。結晶性高分子の一つであり、軽量(比重約0.902)で機械的性質、剛性、曲げ疲労性などに優れている。耐熱性、耐ストレスクラッキング性はPEよりも優れているが低温衝撃性は劣る。成形収縮率が大きく寸法精度が出しにくい。

PPE (ポリフェニレンエーテル)

ポリフェニレンエーテルは耐水、耐熱水性に優れるが、耐候性に若干の難点をもち、耐熱性が高いため、成形が困難であった。難燃性であるので、ポリスチレンとブレンドして変性PPEとしたところ、加工温度も下がり、耐水性もあり、適度な耐衝撃性もあり、エンプラの中心的材料となった。ブレンドはその成分割合で耐熱性や強度を変化させることができる。

PPO (ポリフェニレンオキサイド)

耐熱性を有するポリエーテル樹脂で、キシレノールを銅触媒で酸化重合して得られる熱可塑性樹脂。高い熱変形温度と硬度、耐衝撃性、引張り強さに優れている。酸、アルカリに耐えるが芳香族炭化水素、塩素化炭化水素溶剤に弱い。改良したものに変性PPO(ノリル)がある。

PPS (ポリフェニレンサルファイド)

ポリフェニレンスルフィドともいい、耐熱性にすぐれ、ガラス繊維との親和性もよい。難燃性で、耐薬品性にすぐれ、摩耗性も少なく、非粘着性をもつ。強度もあり、機械、電気などの部品に用いられる。

PS (ポリスチレン)

代表的な熱可塑性樹脂の一種でスチレンおよびその誘導体を主体とする重合体をいう。種類としては一般用(GPPS)と耐衝撃用(HIPS)がある。

PSF (ポリスルホン)

ポリスルホンは若干着色しているが、透明で、耐熱水性と無毒のため、食品、医用機器に用いられる。スーパーエンブラに属し、耐熱性は高く、難燃性で耐薬品性が良好で酸、アルカリにも耐える、低温特性も良好で冷凍トレイ、電子レンジトレイに用いられる。電気、機械部品にも用いられ、義歯、ポンプなど医用にも用いられる。

PUR (ポリウレタン)

ジイソシアネートとグリコール類またはジアミン類を反応させて得られる高分子化合物。ポリウレタンの最終製品の性質は出発原料の種類や比率によって非常に大きく変わり、そのため熱可塑性にも熱硬化性にもなりうる。

PVC (ポリ塩化ビニール)

塩化ビニール(PVC)を参照。

PVC (塩化ビニール)

塩化ビニールの重合体で、熱可塑性樹脂として最も古く、成形加工時の熱安定性が悪く、ヤケの発生、金型及びスクリュシリンダの腐食などが通常発生しやすい。耐水性、耐薬品性、電気絶縁性、難燃性、耐候性に優れている可塑性剤、安定剤などの添加配合によりSPVCとHPVCに分けられる。

P-V-T特性

熱可塑性樹脂の固相から熔融相にいたる広い温度領域での圧力(P)－比容(積)(V)－温度(T)の相互関係をいい、その定量化には状態方程式が用いられる。一般に熔融圧縮性は比較的大きく、比容積は圧力と温度に依存して変動する性質があり、これは成形収縮率、残留ひずみ(充填ひずみ)に大きな影響を及ぼす。またこれらの関係をうまく利用することによって最適加工条件、最適成形品を知ることができるほか、射出圧縮成形などにも利用されている。CAE的な解析法では保圧、冷却のシミュレーションに重要なデータベースの一つになっている。

SAN (AS樹脂)

スチレンモノマーとアクリロニトリルの共重合体であり、GPPS(ポリスチレン)にほぼ近い透明性をもつ。GPPSと比較して、強度、耐候性、耐薬品性、耐熱性などに優れている。

TPE (熱可塑性エラストマー)

ゴムとプラスチックの両方の特性を有し、プラスチックと同じ成形加工性を有し、しかもゴム状弾性を具備した高分子材料をいう。プラスチックと同じく再利用もでき、加硫ゴムに類似した特性をもっている。常温では加硫ゴムと同じ性質を示し、高温では可塑化されて一般の射出成形機で成形ができる。代表的な熱可塑性エラストマーとして 1、スチレンブタジエン系(TPS) 2、オレフィン系(TPO) 3、ポリエステル系(TPEE) 4、ポリウレタン系(TPU) の4大TPEと呼ばれるものや 5、塩化ビニル系(TPVC) 6、ポリアミド系(TPEA) 7、フッ素ゴム系 などがある。

TPEA (ポリアミド系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてナイロンオリゴマー、ソフトセグメントとしてポリエーテルオリゴマーであり、セグメントの分子量を変えることによって、結晶状態や微細構造が異なる。そのため広範囲な硬さのグレードが上市されている。ハードセグメントにナイロン成分を使用しているため機械的強度や耐摩耗性にすぐれている。主な用途として、各種ギヤ、軸受、グロメット、バンパー、各種スポーツシューズ、化粧品チップ、チューブなどに使用されている。

TPEE (ポリエステル系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてポリブチレンテレフタレート(PBT)系ポリエステル、ソフトセグメントとしてポリメチレングリコール(PTMG)のような脂肪族ポリエーテルからなっている。結晶化速度が速く、射出成形性にすぐれ、機械的強度、耐薬品性ととも、Tgが-70℃以下(PTMG)で、低温柔軟性が良好である。ソフトセグメントの選択によって、耐熱性、耐候性が向上する。主な用途として、油ホース、ダイヤフラム、Oリング、ロール、チューブベルト、電気・電子部品に使用されている。

TPO (オレフィン系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてポリプロピレン、ソフトセグメントとしてエチレンプロピレンゴムからなり、単に機械的に混練ブレンドしたタイプと、ソフトセグメントのみを有機過酸化剤で架橋したタイプに分類される。TPEの中で最も比重が小さく(0.88)、耐熱性、耐候性、耐オゾン性がすぐれ、電気特性も良好である。主な用途として、自動車のバンパー、防水シート、各種パッキング、ホース、スポーツ用品などに使用されている。

TPS (スチレン系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてポリスチレン、ソフトセグメントとしてポリブタジエンからなるブロック共重合体である。ソフトセグメントとしてポリイソプレンも使用される。世界で最も生産量が多いTPE。主な用途として、履物、接着剤、粘着剤、プラスチック改質剤、シーラントなどに使用されている。

TPU (ポリウレタン系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてポリウレタン、ソフトセグメントとしてポリオールやポリエステルからなり、広範囲の硬さ(80A～80D)のものがある。熱可塑性エラストマーの中では、とくに耐摩耗性、耐油性、耐屈曲性がすぐれている。ソフトセグメントを選択することによって特徴のあるグレードが開発されている。ポリエーテル系は、耐水性、低温性にすぐれ、カプロラクタム系は、耐熱性、耐水性が良好、アジペートエステル系は、透明性すぐれている。主な用途として 1.射出成形品では(ダストカバー、ギヤ、シール材、ローラ etc.) 2.押出成形品では(ホース、チューブ、フィルム、電線、ケーブル etc.) 3.ブロー成形品では(ブーツ、容器 etc.) 4.カレンダー成形品では(ベルト、フィルム etc.)などに使用されている。

TPVC (ポリ塩化ビニル系熱可塑性エラストマー)

熱可塑性エラストマーの一つで、他の熱可塑性エラストマー(TPE)と異なりハードセグメントとソフトセグメントの共重合体ではなく、軟質PVC製造時にサスペンションや乳化重合で部分架橋ゲルを含有させたゲルPVC、高重合度PVCの可塑化物、NBR変性PVCなどがある。耐候性、耐熱老化性、耐油性がすぐれ、PVCと比べ圧縮永久ひずみ、耐屈曲性が良い。

アクリル樹脂

射出成形用のものは、メタクリル酸メチルの重合体を主成分としたもので透明性に優れ流動性はポリスチレンより悪く、吸湿性があるので成形に際しては、十分に乾燥して水分を除去する必要がある。ポリアクリレート、メタクリル樹脂。

エンジニアリングプラスチック (エンブラ) (高機能樹脂)(高分子樹脂)

エンジニアリングプラスチック(略称エンブラ)は、構造材や耐熱、耐じん性の高い材料、部品等に使用できるプラスチックで、一応、引張強さが50MPa以上、伸びもある程度大きく、衝撃強さが50J/m以上、荷重たわみ温度が100℃以上で、耐薬品、耐難燃、耐候性もすぐれているプラスチックをいう。またエンブラの中でも、汎用エンブラとスーパーエンブラ(特殊エンブラ)に分類されている。代表的な樹脂に、汎用エンブラでは、PA、POM、PC、PBT(PET)、変性PPEがあり、スーパーエンブラでは、PPS、PAR、PEI、PSF、PES、PEK、PEEK、PI、PAIなどがある。

オレフィン系樹脂

二重結合を1箇もった鎖状炭化水素の総称で、結晶高分子からなるため結晶化度により物性が変化する。この系統の樹脂として、ポリエチレン、ポリプロピレンがある。オレフィン系樹脂は、一般的に比重が小さく、耐薬品性が良く、射出流動性も優れているが、成形収縮率が大きく塗装、接着、ホットスタンプなどの二次加工が劣る。

カラーリング (着色)

材料に顔料などで着色させることをいう。

キュア(硬化)

熱硬化性プラスチックを熱、触媒、光、放射線などの作用によって架橋させ安定した状態に変えることをいう。成形温度が高すぎたり、時間が長すぎると、成形品に老化が起こることがある。この状態をオーバーキュアといい、キュアが不十分な状態をアンダーキュアという。

クリープ

一定の応力を保った場合、時間とともに変形量が増す現象をいう。樹脂特性のほか、温度などの外部環境に支配される。特に粘弾性体の場合には、この性質が強く、レオロジーモデルとしては機械ばね(弾性)とダッシュポット(粘性)を並列に組み合わせたフォークトモデルによって表すことができる。

ゲル

コロイド粒子や高分子溶質が相互作用のために独立した運動性を失って集合した構造をもち、それが固化した状態をゲルと呼んでいる。ゲルが分散媒を含んだままで固化したものをゼリーといい、狭義ではゲルはゼリーをさす。これに対してコロイド粒子が液体中に分散して流動性を示す状態をゾルと呼び、ゾルが固化することをゲル化という。

コンパウンド

合成樹脂に必要な応じて可塑剤、充填材、着色剤、強化材、その他各種配合剤を加えて混合し、そのままの状態成形に提供することが出来るようにした材料をいう。

スチレン系樹脂

スチレン系樹脂は射出成形用のプラスチック材料のうちでも主流を占め、他の樹脂と比較して一般的に成形性が良く、主なものとしてGPPS、HIPSのポリスチレン、AS(SAN)、ABSなどがある。

ゾル

液体を分散媒とするコロイド分散系で、分散系全体が流動性をもつものをゾルという。これに対して、流動性を消失して固化したものをゲルと呼んでいる。分散媒が水の場合をヒドロゾル、有機液体の場合をオルガノゾルといっている。

ドライカラーリング

ナチュラルペレットと粉末状着色剤とを混合して、直接射出成形して最終製品にする方法。

ナイロン

ポリアミドを参照。

フッ素系熱可塑性エラストマー

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントとしてフッ素樹脂分子、ソフトセグメントとしてフッ素ゴム分子で構成されている。フッ素ゴムとフッ素樹脂の中間的な性質を示し、必要ならば加硫することもできる。耐熱性、耐候性、耐薬品性がすぐれ、透明性が高い。主な用途として、高品質のチューブ、シール材、ダイヤフラム、電線、封止、フィルム、接着剤(ホットメルト)、フッ素ゴム改質剤などに使用されている。

フッ素樹脂

フッ素樹脂には多くの種類があり、四フッ化エチレン樹脂(PTFE)が主に用いられているが、その他のフッ素樹脂として、四フッ化エチレン・六フッ化エチレン共重合体(FEP)、四フッ化エチレン・パーフルオロアルコキシエチレン共重合体(PFA)、三フッ化塩化エチレン(PCTFE)、エチレン・四フッ化エチレン共重合体(ETFE)など多くの種類がある。いずれのフッ素樹脂も耐薬品性に優れ、PTFEやFEPなどは耐熱性にすぐれ、また摩擦係数が小さく、非粘着である。フッ化ビニル、フッ化ビニリデンの重合体も市販されており、耐熱性、耐候性がよいので塗料などに用いられている。しかし、フッ素樹脂は比較的柔らかく、PTFEなどは成形温度が高いため、特殊な設備や方法で成形される。PFAやETFEなども射出成形はできるが、PTFE同様に特殊な設備や方法が必要である。また、フッ素樹脂は摩擦係数が小さいので、その粉末などを他のプラスチックに混合して軸受などの用途に用いることも多い。

プラスチック

大きな分子量を有する有機化合物から成り、通常最終状態は固体であるが、それに至る途中に熱や圧力などの作用で流動化し、自由に成形できる一群の材料を総称している。JIS K 6900-1977によれば「高分子物質(合成樹脂が大部分である)を主原料として人工的に有用な形状に形づくられた固体である。ただし、繊維、ゴム、塗料、接着剤などは除外される。」と定義づけられている。

プリミックス

強化プラスチックに用いる成形材料の一種で、樹脂に単繊維補強材、充填材、触媒、着色材などを練り合わせて作った成形材料をいう。パテ状のものとペレット状のものがある。

ペレット

直径または、一辺が2~5mmぐらゐの球形、円柱形または、角柱形に造粒した成形材料をいう。

ポリアクリレート

アクリル樹脂を参照。

ポリエステル

主鎖にエステル結合をもつ重合体で、多塩基酸と多価アルコールとの重縮合などによって得られる。不飽和ポリエステル樹脂、ポリエチレンテレフタレートなどがある。

ポリオレフィン

エチレン、プロピレンなどのオレフィン類の単独重合体、または異種ポリオレフィンとの共重合体の総称で、ポリエチレン、ポリプロピレンなどがその代表的なもの。

ポリブタジエン系熱可塑性エラストマー

熱可塑性エラストマーの一つで、分子内に1、2結合を含む低結晶性シンジオタクテック構造を有し、平均分子量10数万、結晶化度15～35%を保有する。熱可塑性素材として、フィルム、履物、カーペットに、側鎖の2重結合を利用した加硫ゴムとして、スポンジ、高硬度ゴム製品に使われる。主な用途として、サンダル、ケミカルシューズ、発泡ジョギングシューズ、生鮮青果物用フィルムなどの用途に使用されている。また、過酸化物架橋の共架橋剤としても使用されている。

マスターバッチ

ナチュラルペレットと着色カラーペレットを、所定の割合で混合して、直接射出成形して最終製品にする方法。

ミラブル

ゴム業界では一般的にロール練り可能なポリマーと言う意味で使用される。例えばウレタンゴムはポリマーの形態により加工方法が異なる。液状ウレタン(キャストタイプ)、熱可塑性ウレタン、ミラブルウレタン(ロール練りタイプ)、同じウレタンゴムでもポリマーの形態、加工方法が異なるため、区別するためにロール練りが可能なウレタンゴムをミラブルタイプと表現する。また、ミラブルタイプの原料ゴムを使用して製造した加硫ゴムにも適用して表現することもある。

--参考:

☆ウレタンゴムの他にシリコンゴムにも下記の種類がある。

- ・RTVシリコン(常温加硫型シリコン)/液状、グリス状
- ・LTV(低温加硫型シリコン)/液状、グリス状
- ・LSRシリコン(液状シリコン)/液状、グリス状
- ・ミラブルシリコン(ロール練り)

メタクリル樹脂

アクリル樹脂を参照。

メルトフローレート(メルトフローインデックス)

溶液状態にあるポリマーの流動性を示す最も普及している尺度の一つで、溶液指数ともいう。押出式プラストメーターで、一定圧力、一定温度の下に、規定の寸法をもつノズル(オリフィス)から流出する量を測定し、g/10minの単位で表わした指数である。一般にメルトフローレートの数値が大きいほど熔融時の流動性や加工性は良好であるが、引張り強さ、耐ストレスクラッキング性が低下する。

安定剤 [あんていざい]

プラスチック加工のとき、およびその製品の使用期間中に、物理的および化学的性質が低下するのを防止するためにプラスチック加工の配合時に加える物質をいう。

永久ヒズミ(永久変形)

材料に外力を加えて変形させる過程で、応力が弾性限度以内である間にこれを取去ればヒズミは完全に消失するが、弾性限度より大きい応力を加えた後これを取去れば、もはやヒズミは完全には消失せず、その一部分あるいは大部分が残る。これを永久ヒズミという。このヒズミが伸びヒズミの時は永久伸びという。

永久伸び [えいきゅうのび]

元来は材料に引張り荷重をかけ、その荷重を除いた後にも永久的に残る材料の伸び率をいう。すなわち永久ヒズミの一種をいう。実際のプラスチック材料については、ダンベル形試験片に引張り荷重をかけて規定伸び率まで引き伸ばし、10分間その状態で保持した後、速やかに荷重を除き、10分間放置した後の伸び率を原長に対して求め、永久伸び率(%)とすることが規定されている。(JIS K 6301)

塩素化ポリエチレン系熱可塑性エラストマー

熱可塑性エラストマーの一つで、ハードセグメントがブロック型塩素化ポリエチレンからなり、ソフトセグメントがランダム塩素化ポリエチレンからなり、ポリエチレンの水中エマルジョンに塩素ガスを反応させて作られる。未加硫で使用されるが、過酸化物やアミンで架橋して使うこともできる。耐候性、耐オゾン性、耐油性、耐薬品性、難燃性がすぐれPE、PS、ABSなどの難燃性、耐衝撃性附与剤としても使用される。

可塑剤 [かそざい]

樹脂の可塑性を良くすると共に、製品に柔軟性を与えるために樹脂に加えられる液状または固体状の物質をいう。

荷重たわみ温度

熱変形温度を参照。

滑剤 [かつざい]

熱可塑性樹脂を成形するとき、その流動性を改善して加工を容易にするため、あるいは成形品を金型から抜き取ることを容易にするために添加をする薬剤をいう。

吸水性(吸湿性)

成形加工に用いるポリマー、フィラーには水分を吸って成形性や製品の性質に著しく影響するものがある。ナイロンは特に吸水性が高いことで知られ、吸水率が1.5%にも及ぶ。ナイロンでは絶乾時と吸湿時では力学的性質が異なる。また、成形時に水分の影響を受けて分解するポリエステルなどは、成形に先立って乾燥する必要がある。

吸水率

物体を一定温度において、一定時間蒸留水に浸漬したときの重量増加分と原重量との比を百分率で表わしたものをいう。

結晶性樹脂（結晶性プラスチック）

線状高分子には、その化学構造によって分子の一部が規則的に集まることができ、あるものがある。これを、結晶性樹脂という。

合成樹脂

天然樹脂に対して、人為的に合成された樹脂状のものを当初、合成樹脂といったが現在では、プラスチックと同じ意味に使われている。大別して熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂に分けられる。

自己消火性（自消性）

プラスチックは炎に接すると燃えるが、炎を取り除いたとき自然に消火する性質をいう。

生分解性プラスチック [せいぶんかいせいぶらすちっく]

プラスチックは一般的に金属などと比べて安く、丈夫で長持ち、軽量で加工が容易などその優れた特性ゆえに世界のあらゆる地域と分野で広く利用されているが、短所である半永久的に分解しない点を改良したプラスチックを生分解性プラスチックと呼んでいる。生分解性プラスチックの定義は難しいが、一般的に使用中は従来のプラスチックと同程度の機能を保ちながら、使用後は自然界の微生物によって低分子化合物に分解され、最終的に無害な水や二酸化炭素などの無機物に分解される素材をいう。現在では、ごく一部の樹脂メーカーで実用化され、限られた分野で製品化されている。但し、現段階では廃プラスチックのリサイクルを含む継続的な技術開発が不可欠の研究課題になっているプラスチックでもある。

体積収縮

プラスチックの成形についていえば、金型の中で熔融状態から固化した時に生ずる体積の収縮が問題となることが多い。金型設計の際に重要なファクターとなる。

体積抵抗率

電気絶縁抵抗の大きさを表わすものであり、絶縁体の内部に1cm³の立体を考え、その相対する両面間に電圧を印加し、そのとき立体を通る電流で電圧を除いた電気抵抗である。Ωcmの単位で示す。

体積膨張率

固体の体積が温度によって変わる割合を単位温度当りの体積ひずみで表わしたものである。

耐アーク性

絶縁材料がアークによる劣化に耐える能力をいう。芳香環を含まず、炭素主鎖の途中にN、Oなどが結合しているプラスチック(たとえば、アミノ樹脂)は炭化しにくく耐アーク性が良いが、フェノール樹脂は耐アーク性が劣る。

耐コロナ性

コロナ放電による劣化に耐える絶縁材料の能力をいう。

耐トラッキング性

絶縁材料が高電圧のもとで導電路が形成されて破損に耐える能力をいう。

耐菌性

各種菌の侵食に対するプラスチックの抵抗性をいう。

耐候性

プラスチックの光、熱、風、雨などの屋外条件下で暴露したときの耐久性をいう。長期間を要する屋外暴露試験と人工促進試験によって評価される。

耐候性改質剤

プラスチックは光、熱、酸素、水、オゾン、微生物によって劣化し、外観の変化、機械的、電氣的性質の低下を生ずる。これらのすべてを改質するものはないが、一例としてこれらの劣化を生ずる因子の中で光による劣化が大きことから、紫外線を吸収し、熱として放散し光による劣化を出来るだけ少なくする副資剤としては、サルチレート、ベンゾフェノン、ベンゾトリアゾール系のものがある。酸化反応の制御のためには、プロピルガレード、*p*-ブチルアミノフェノールなどの酸化防止剤、分散防止用安定剤としては、三塩基性硫酸鉛、有機スズ化合物などがある。

耐食性

屋外暴露、化学薬品などによって生ずる腐食に耐える能力をいう。

耐熱PETボトル(耐熱ペットボトル)

ジュースなどの果汁飲料用ボトルとして使用されている内容品の熱間充填が可能なPETボトルをいう。通常の射出延伸ブロー成形で成形されたPETボトルは、85℃程度の熱間充填においても胴部や底部の変形、収縮が生じたり、口部の変形によりキャッピング不能となる。耐熱PETボトルでは、ボトル口部は加熱により白化結晶化され、胴部および底部は100℃以上に加熱されたブロー金型でヒートセットが施こされる。胴部をヒートセットする方法としては、1モールド法と2モールド法がある。前者は、温度の高いブロー金型内でヒートセットする方法で、装置は単純であるが生産速度が低下する。後者では、ヒートセットと冷却を第二の金型で行うものである。

耐熱性

材料の高温における安定性をいい、溶融、軟化、熱分解温度が高いこと、高温において酸素、オゾンその他の物質の影響を受けにくいこと、物性が低下しないことなどが対象になる。

耐燃性

プラスチックが燃焼に耐える能力をいう。炎にさらされているときは燃えるが、炎を取り去ると燃焼が続かず消える能力をいう。

耐薬品性

プラスチックでは、金属のように水分などにより錆びる現象は少ないが、有機溶剤や強酸、強アルカリに侵されるものがある。しかしフッ素樹脂、PE、PP、POMなどのように薬品に侵されにくいものも多く、特に塩類にはほとんど侵されない。プラスチックの構造によって縮合などで製造されたポリアミド、ポリエステルでは、強酸、アルカリによって加水分解され、高温では水の存在下で分子量が小さくなる(強度が低下する)。ビニル重合したプラスチックは一般に極性基をもつため、溶剤に弱く(例 酢酸ビニル PMMA、PVC、CAなど)、これに対し、炭素と水素からなるPE、PPなどは耐薬品が良く、逆にこれを溶かす溶媒がなく、印刷適性も悪くなる。この水素をフッ素に変えたのがフッ素樹脂であるが、これはさらに耐薬品性がすぐれる。

耐油性

プラスチックが油類に対して膨潤、溶解せず、クラックの発生がなく、外観、形状の変化または物性の低下に耐える能力をいう。

耐溶剤性

一般に極性のプラスチックは吸水率も大きく、水を含むと強度の低下、透明性の低下、膨張などを起こす。これに対し溶剤に対して侵されにくいものが多い。たとえばPA66、アイオノマー、ポリウレタンなどは、水に弱い耐溶剤性はすぐれている。またアクリロニトリル共重合体も耐油性が良好である。耐水性の悪いプラスチックは少ないが、エチレン-ビニルアルコール共重合体はすぐれたバリアープラスチックであるが、耐水性は良くない。逆にビニル系プラスチックは耐溶剤性が良くないが、耐水性は良好である。(たとえばPS、PVCなど)。耐薬品性にすぐれているフッ素樹脂、PP、PE、POM、ポリメチルペンテン、ポリスルホン、ポリエーテルエーテルケトンなどは、耐溶剤性もすぐれる。

帯電防止剤

プラスチック、ゴム、繊維の表面の電気抵抗を小さくして、静電気の発生による帯電を防止するために成形材料に添加したり、表面に塗布する副資材をいう。界面活性剤、無機塩、多価アルコール、金属化合物、カーボンなどがある。

弾性

一定の限度以下の外力を加え変形させ、その後、外力を取り除くと原形にもどる性質をいう。

弾性限度

材料に応力を加えると応力の増加と変形量(ひずみ)が正比例的に増大していくが、さらに応力が増大すると両者の関係は正比例的ではなくなり、応力を取り除いても原形にもどらなくなる、原形にもどる応力の上限をいう。

弾性率

弾性限度内において、材料が受けた引張り、曲げ、圧縮、せん断、ねじれなどの応力を材料に生じたひずみで除した値をいう。Kg/mm²、N/mm²、Paの単位で示す。また弾性限度を超えた領域で、応力-ひずみ線図上の任意の位置における応力とひずみとの比を見掛け弾性率という。

蓄光材料(蓄光剤)(発光材料)

蓄光材料とは、太陽光や蛍光灯などの光を吸収蓄積して、暗所でこれを徐々に放出、発光する性質を持った材料をいい、その吸収、蓄積、発光を繰り返す性質は長期間、保持される。射出成形関連の加工方法としては、蓄光材料をパウダータイプ、マスターバッチタイプにした物があり、プラスチック材料との練り込みが可能で通常射出成形法で成形品を作ることが可能である。用途としては現在、様々な分野で応用展開されていて例として(非常口、非常階段、消化器等の避難誘導標識、照明器具、時計、電話器、壁材、アウトドア用品)等がある。

着色材

プラスチックに色彩を与えるために用いる染料、顔料、および、これらの各種助剤を添加したものの総称である。

低温たわみ性

常温で柔軟性を持つプラスチックが低温でも柔軟性を保持する性質をいう。

低温流れ

ガラス転移点以下の温度において、応力を加えたとき生じる変形をいう。

転移温度

物質の物性がある状態から他の状態へ変化する温度をいう。物質の融点を第一転移温度、分子運動の凍結と考えられる温度を第二転移温度、またはガラス転移温度という。

導電性プラスチック

導電性を示すプラスチック。導電率 10^{-5} v/cm以上の半導体領域以上の導電性を示すものをいう。大別するとカー、銀、銅などの導電性微粒子との複合化により、電子ホッピングサイトの生成と、導電路の形成により導電性にするものと、ポリマー自身に導電性をもたせるものがあり、後者の中には、 π 電子共役系の形成によるもので、例えば、ポリアセチレン、ポリ- ρ -フェニレン、ポリピロール、ポリチオフエンなどであり、これにドーピングすることにより導電性が附与され、特にポリアセチレン、ポリオキサジアゾールなどを熱縮合化して π 電子共役系をしたものは導電率が大きくなる。また電荷移動型錯体を形成するポリビニルピリジン、ポリビニルカルバゾールなどヘアクセプターを導入することにより、導電性となる。現在実用化されているのは、複合化による導電性プラスチックであり、ポリマー自体を導電化する技術は、研究が進められているが、まだ実用化の段階にはなっていない。

難燃剤

プラスチックに耐燃焼性を与え、もしくは改良する目的で添加混入したり、又は表面塗布する薬品類。

熱可塑性樹脂(熱可塑性プラスチック)

加熱すると、軟化して加工できるようになり、冷やすと固化する樹脂をいう。熱可塑性樹脂は線状構造であるため、加熱すると軟化し、冷却すると固化し、これをくりかえすことができる。したがって熱硬化性とちがい不良成形品の再利用化ができる。

熱硬化性樹脂 (熱硬化性プラスチック)

加熱すると、軟化して加工できるようになるが、そのまま加熱を続けると、化学反応を起こして硬化する樹脂をいう。熱硬化性樹脂は比較的分子量の物質が加熱により高分子量の3次元架橋構造(網状構造)となるもので、一度硬化あとは加熱しても再び軟化することがない。

熱伝導率

物質内で熱が伝わる速度を示す熱的特性値の一つで、単位時間、単位厚さ、単位温度あたりの熱量で表し、kcal/mhr°Cが用いられることが多い。測定法には JIS A 1412 (平板比較法)、JIS A 1414 (平板直接法)がある。熱伝導率は、温度、圧力によって変化する。

熱変形温度 (荷重たわみ温度)

樹脂を一定の荷重下に一定速度で温度の上昇をさせたときに所定の変形を示す温度をいう。現在は間違った解釈が行われ易いため、荷重たわみ温度に改められた。

粘度 (粘性)

流動する物体の内部に生じる抵抗を粘度という。プラスチックで熔融粘度が低いということは流動性が良いことを意味し、逆に粘度が高いということは流動性がわるいことを意味する。

汎用プラスチック (汎用樹脂)

一般的には、価格が安く、加工容易な熱可塑性プラスチックで、広く工業用から日用品雑貨に至るまで使われているプラスチックをいう。代表的な汎用樹脂に、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、塩化ビニル樹脂、スチレン系樹脂、メタクリル酸樹脂などがある。

非結晶性樹脂 (非結晶性プラスチック)

結晶性樹脂とは異なり、高分子鎖を形成する原子団が大きすぎたり架橋が結晶の妨げになったりするため、分子が規則的に集まることができないものがある。これを、非結晶性樹脂という。

離型剤 [りけいざい]

成形品が金型に粘着するのを防止して容易に離すことが出来る薬品のこと。

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
1率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATA の1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (= N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法) = 4.184 J (熱化学) = 4.1855 J (15 °C) = 4.1868 J (国際蒸気表)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	
	3.6 × 10 ⁹	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1



古紙配合率100%
白化度70%再生紙を使用しています