

中性子イメージング技術の基礎と応用

(社) 日本アイソトープ協会 理工学部会
中性子イメージング専門委員会

連載講座「中性子イメージング技術の基礎と応用[†]」の合本について

日本アイソトープ協会理工学部会中性子イメージング専門委員会では、その主要な活動として講座「中性子イメージング技術の基礎と応用」を企画し、RADIOISOTOPES 誌にほぼ一年かけて連載した(2007年4月~2008年5月)。それを合本したものが本冊子である。

序文等で既に述べたように、我が国では本分野に系統的・網羅的にまとめられた、いわゆる教科書、参考書、ハンドブックを兼ねるような書物がなかった。本講座は、この点を考慮して計画され、初めて中性子イメージングに接する方はもとより、専門の方のハンドブックとしても役立つように構成されている。また、近年、急速に進展した表題の技術とともに、近い将来、実現に向かっている大型中性子源施設の利用なども考慮に入れている。

今般、本講座を合本するに際し、読者の便を図る意味で、総目次を、また写真を含む図と表の総目録を各々まとめた。

本講座は連載時、各出版号に基礎編と応用編をほぼ各一編ずつ掲載されたが、本冊子では、基礎編と応用編を別々にまとめた。そのため、本誌の掲載頁(上欄)が一連の頁順にならないので、改めて通し頁(下欄)も付した。

今振り返ってみると、当初念頭に描いていたすがたに比べ、いまだ完璧でなかった部分、議論を尽しきらなかつた部分、取りこぼしてしまった話題など幾つかあることに気づく。しかし、最も基礎的な議論から出発し、最新の技術にわたり網羅的にまとめることができたことは、本専門委員会としてほぼ満足に思っている。最新の話題など、ここで不足している部分は、また時を改めてまとめてみたいと思っている。

執筆は、序文に挙げた本専門委員会委員(本講座「序文」203頁(上欄頁))の他に多くの方々にもお願いしたが、各編に明記してあるので、そちらをご覧頂きたい。執筆にご協力頂いた方々に、ここで改めてお礼を申し上げます。

本冊子は、日本アイソトープ協会 RADIOISOTOPES 編集委員会が、本誌に多くの頁数を提供して頂くことで実現したものである。本専門委員会として改めて感謝いたします。

2009年2月

(社)日本アイソトープ協会理工学部会
中性子イメージング専門委員会[‡]
委員長 小林 久夫

[†] Fundamentals and Applications of Neutron Imaging

[‡] Subcommittee of Neutron Imaging: Science, Technology and Applications,
Physical Science and Industry Committee, Japan Radioisotope Association

©Japan Radioisotope Association, 2009 Printed in Japan

総 目 次

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
0回 序文	56	4			203	左右	1
中性子イメージング概論							
1. 中性子イメージング	56	4	1		207	左	5
2. 中性子イメージングの歴史	56	4	2		207	右	5
基礎1回 中性子と物質の相互作用							
1. 相互作用の概要	56	4	1		211	左	9
2. 中・高エネルギー中性子の断面積							
	56	4	2		213	右	11
2・1 ポテンシャル散乱断面積	56	4	2	1	214	左	12
2・2 共鳴断面積	56	4	2	2	216	右	14
基礎2回 中性子の特徴的透過特性—低エネルギー中性子断面積							
1. 散乱断面積の基礎	56	5	1		271	左	17
2. 中性子回折(弾性散乱)	56	5	2		273	左	19
3. 中性子の屈折	56	5	3		275	右	21
4. 含水素物質による非干渉性散乱	56	5	4		277	左	23
5. 中性子の減速とエネルギースペクトル							
	56	5	5		278	右	24
6. まとめ	56	5	6		280	右	26
基礎3回 中性子イメージング技術の原理							
1. 中性子は何を見せてくれるか	56	6	1		329	左	29
2. 中性子イメージングによる透視画像を見よう							
	56	6	2		329	右	29
3. 中性子イメージングとは	56	6	3		332	左	32
3・1 物質との相互作用による減衰の利用							
	56	6	3	1	332	左	32
3・2 中性子イメージングシステムの構成							
	56	6	3	2	333	左	33
4. 中性子イメージング手法の分類	56	6	4		333	左	33
4・1 中性子の検出	56	6	4	1	333	左	33
4・2 中性子画像化法	56	6	4	2	334	左	34
4・3 複合的撮像技術	56	6	4	3	335	左	35
4・4 中性子エネルギー群による分類と特徴							
	56	6	4	4	335	左	35
4・5 中性子イメージングの定量性							
	56	6	4	5	336	左	36

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
5. おわりに	56	6	5		337	左	37
基礎 4 回 中性子イメージング技術に関する基本因子							
1. はじめに	56	7	1		403	左	39
2. 中性子ビーム	56	7	2		403	右	39
3. 中性子強度	56	7	3		405	左	41
4. ビームの非平行特性	56	7	4		405	右	41
4・1 画像の拡大	56	7	4	1	405	右	41
4・2 幾何学的不鮮明度	56	7	4	2	406	左	42
5. 撮像系に関わる因子	56	7	5		406	左	42
5・1 撮像系の固有空間分解能	56	7	5	1	406	右	42
5・1・1 撮像方式	56	7	5	1	406	右	42
5・1・2 理論的解析	56	7	5	1	408	右	44
5・1・2・1 撮像系	56	7	5	1	408	右	44
5・1・2・2 変調伝達関数	56	7	5	1	408	右	44
5・1・3 総合的分解能	56	7	5	1	409	左	45
5・2 撮像系の階調分解能	56	7	5	2	409	右	45
5・2・1 撮像系の階調分解能	56	7	5	2	409	右	45
5・2・2 画素面積と階調分解能	56	7	5	2	411	右	47
5・3 画像歪み	56	7	5	3	411	右	47
5・3・1 撮像系の画像歪み	56	7	5	3	411	右	47
5・3・2 非直線性	56	7	5	3	411	右	47
6. 実効エネルギーと実効全巨視的断面積							
	56	7	6		412	右	48
6・1 実効エネルギー	56	7	6	1	413	左	49
6・2 実効全巨視的断面積	56	7	6	2	413	左	49
6・3 コンバータのエネルギー感受性							
	56	7	6	3	414	左	50
7. 散乱中性子線	56	7	7		414	右	50
8. まとめ	56	7	8		415	右	51
基礎 5 回 中性子イメージングの中性子源							
1. はじめに	56	8	1		479	左	53
2. RI を利用した中性子線源	56	8	2		480	左	54
2・1 (α , n) 反応を利用した中性子源							
	56	8	2	1	480	右	54
2・2 (γ , n) 反応を利用した中性子源							
	56	8	2	2	480	右	54
2・3 自発核分裂による中性子源	56	8	2	3	481	右	55
3. 加速器を利用した中性子源	56	8	3		482	右	56
4. 核破碎反応を利用した中性子源	56	8	4		483	右	57

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
5. 原子炉中性子源	56	8	5		484	右	58
6. 中性子源に付随して使用するもの							
	56	8	6		485	右	59
6・1 中性子増強装置 (フィッションコンバータ)							
	56	8	6	1	485	右	59
6・2 フィルタ (ベリリウム、黒鉛)							
	56	8	6	2	485	右	59
6・3 冷中性子源及び高温中性子源							
	56	8	6	3	485	右	59
7. まとめ	56	8	7		486	左	60
基礎 6 回 中性子イメージング用ビームの生成							
1. はじめに	56	9	1		573	左	61
2. 中性子ビームの生成	56	9	2		573	左	61
2・1 中性子源	56	9	2	1	573	左	61
2・2 減速	56	9	2	2	574	左	62
2・3 フィルタ 1	56	9	2	3	575	左	63
2・4 ダイヤフラム	56	9	2	4	575	右	63
2・4・1 位置	56	9	2	4	575	右	63
2・4・2 形状・寸法	56	9	2	4	575	右	63
2・4・3 材質	56	9	2	4	576	左	64
2・4・4 その他	56	9	2	4	576	左	64
2・5 飛行管	56	9	2	5	576	右	64
2・6 フィルタ 2	56	9	2	6	577	左	65
2・7 ビームシャッター	56	9	2	7	578	左	66
2・8 撮像装置	56	9	2	8	578	右	66
2・9 ビームキャッチャー	56	9	2	9	578	右	66
2・10 照射室及び遮蔽室	56	9	2	10	578	右	66
2・11 他の中性子ビームの形成	56	9	2	11	579	左	67
3. 強度と線質	56	9	3		579	左	67
3・1 熱中性子ビーム	56	9	3	1	580	左	68
3・2 冷中性子ビーム	56	9	3	2	580	左	68
3・3 極冷中性子ビーム	56	9	3	3	580	右	68
3・4 熱外中性子ビーム	56	9	3	4	580	右	68
3・5 高速中性子ビーム	56	9	3	5	581	左	69
4. 照射装置の性能	56	9	4		581	左	69
4・1 中性子フルエンス率	56	9	4	1	581	左	69
4・2 L/D と L 値	56	9	4	2	581	左	69
4・3 線質	56	9	4	3	581	右	69
4・4 散乱線と γ 線	56	9	4	4	581	右	69

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
5. 終わりに	56	9	5		582	右	70
基礎 7 回 中性子イメージング画像取得法							
1. はじめに	56	10	1		687	左	73
2. 画像信号取得方式	56	10	2		687	左	73
2・1 中性子検出の概要	56	10	2	1	687	右	73
2・1・1 中性子検出用物質	56	10	2	1	687	右	73
2・1・2 画像化方式の概要	56	10	2	1	688	左	74
2・2 中性子検出方式	56	10	2	2	690	左	76
2・2 (a) 金属 Gd	56	10	2	2	690	左	76
2・2 (b) 重粒子線と X 線フィルム	56	10	2	2	690	右	76
2・2 (c) 粒子線と蛍光体	56	10	2	2	691	左	77
2・2 (d) 自身が蛍光体	56	10	2	2	691	左	77
2・2 (e) 複合蛍光体	56	10	2	2	691	右	77
2・2 (f) 固体検出器	56	10	2	2	691	右	77
2・2 (g) 輝尽発光体	56	10	2	2	691	右	77
2・3 電子式撮像	56	10	2	3	692	左	78
2・3 (a) 比例計数管方式	56	10	2	3	692	左	78
2・3 (b) イメージインテンシファイア (II) を使用する方式	56	10	2	3	692	右	78
2・3 (c) 汎用撮像管を用いる方式	56	10	2	3	692	右	78
2・3 (d) 半導体素子を用いる方式	56	10	2	3	692	右	78
2・4 高性能化・複合化した画像取得	56	10	2	4	693	左	79
3. 画像取得系の性能	56	10	3		694	左	80
3・1 装置の感度	56	10	3	1	694	左	80
3・2 直線性	56	10	3	2	694	右	80
3・3 ダイナミックレンジ	56	10	3	3	695	左	81
3・4 量子効率	56	10	3	4	695	右	81
3・5 階調分解能と雑音特性	56	10	3	5	696	左	82
3・6 空間解像度	56	10	3	6	696	右	82
4. おわりに	56	10	4		696	右	82
基礎 8 回 中性子断層撮影法の基礎							
1. はじめに	56	11	1		751	左	85
2. 投影画像の取得と前処理	56	11	2		751	右	85
2・1 中性子ビーム	56	11	2	1	751	右	85
2・2 投影画像の撮像方式	56	11	2	2	752	左	86
2・3 取得と前処理	56	11	2	3	752	右	86
2・3・1 投影画像の走査方式	56	11	2	3	752	右	86
2・3・2 散乱線成分の推定と補正	56	11	2	3	752	右	86

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
2・3・3 投影画像の前処理	56	11	2	3	752	右	86
3. 中性子断層撮影法の概要	56	11	3		753	左	87
3・1 再構成アルゴリズム	56	11	3	1	753	左	87
3・2 付加的な計算処理	56	11	3	2	756	右	90
4. 固有のいくつかの問題点	56	11	4		756	右	90
4・1 撮像適用範囲	56	11	4	1	756	右	90
4・2 円錐型中性子ビームの問題	56	11	4	2	757	左	91
4・2・1 画像歪み	56	11	4	2	757	左	91
4・2・2 画像の不鮮明度	56	11	4	2	757	右	91
4・3 疑似画像	56	11	4	3	757	右	91
4・3・1 直線状疑似画像	56	11	4	3	757	右	91
4・3・2 リング状疑似画像	56	11	4	3	758	左	92
4・3・3 線質変遷効果	56	11	4	3	758	右	92
4・3・4 クリッピング効果	56	11	4	3	758	右	92
4・3・5 不透過性物質の端部効果	56	11	4	3	758	右	92
4・3・6 動体疑似画像	56	11	4	3	758	右	92
5. CT 取得画像の評価	56	11	5		759	左	93
5・1 CT 画像の評価	56	11	5	1	759	左	93
5・2 CT 値に関する提案	56	11	5	2	759	左	93
5・3 積厚と有効積厚の提案	56	11	5	3	759	右	93
5・4 CT の統計	56	11	5	4	760	右	94
5・5 空間解像度	56	11	5	4	760	右	94
6. NCT の将来	56	11	6		761	左	95
7. まとめ	56	11	7		761	右	95
基礎9回 中性子イメージングにおけるエレクトロニクス画像取得と処理・解析							
1. はじめに	57	1	1		77	左	97
2. 静止画像撮像系	57	1	2		77	右	97
2・1 冷却型 CCD カメラ	57	1	2	1	79	左	99
2・2 イメージングプレート	57	1	2	2	80	左	100
3. 動画像撮像系	57	1	3		80	左	100
3・1 SIT 管カメラ	57	1	3	1	80	右	100
3・2 HARP 管カメラ	57	1	3	2	80	右	100
3・3 固体撮像素子	57	1	3	3	81	左	101
3・4 中性子イメージ・インテンシファイア							
	57	1	3	4	81	右	101
4. 画像処理	57	1	4		84	左	104
5. おわりに	57	1	5		85	左	105
基礎10回 中性子断層撮影法の実際							
1. はじめに	57	2	1		153	左	107

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
2. 中性子 CT	57	2	2		153	右	107
2・1 熱中性子 CT	57	2	2	1	153	右	107
2・2 冷中性子・単色中性子	57	2	2	2	158	左	112
2・3 熱外及び高速中性子	57	2	2	3	159	左	113
2・4 飛行時間法による単色 CT	57	2	2	4	159	右	113
3. ダイナミック CT	57	2	3		160	左	114
4. 吸収コントラスト以外の CT	57	2	4		161	左	115
4・1 フェーズコントラスト CT	57	2	4	1	161	左	115
4・2 屈折率コントラスト CT	57	2	4	2	162	左	116
4・3 極小角散乱コントラスト CT	57	2	4	3	162	右	116
4・4 偏極中性子 CT	57	2	4	4	163	左	117
5. CT 技術関連	57	2	5		163	左	117
5・1 CT 値の直線性	57	2	5	1	163	左	117
5・2 最尤法	57	2	5	2	163	左	117
5・3 広角円錐ビーム	57	2	5	3	163	右	117
5・4 大型試料	57	2	5	4	163	右	117
5・5 散乱線補正	57	2	5	5	163	右	117
5・6 繰り返し先鋭化法	57	2	5	6	163	右	117
5・7 アーティファクト	57	2	5	7	164	左	118
5・8 雑音解析	57	2	5	8	164	左	118
6. おわりに	57	2	6		164	右	118
基礎11回 中性子イメージングの最新技術－1							
1. はじめに	57	3	1		199	左	121
2. 位相イメージング (フェイズコントラスト法)	57	3	2		199	右	121
3. 中性子屈折イメージング	57	3	3		202	左	124
4. ストロボ法	57	3	4		202	右	124
5. N(中性子)－X(X線)フュージョン	57	3	5		204	左	126
6. まとめ	57	3	6		205	左	127
基礎12回 中性子イメージングの最新技術－2							
1. はじめに	57	4	1		267	左	129
2. エネルギー選択イメージング	57	4	2		267	左	129
3. 単色中性子法	57	4	3		268	右	130
4. 中性子共鳴吸収分光法	57	4	4		270	右	132
5. Dy-IP 法	57	4	5		271	右	133
6. コーデッド・アパチャー法	57	4	6		273	左	135
7. その他	57	4	7		273	左	135
8. まとめ	57	4	8		274	左	136

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応用 1 回	中性子イメージングの非破壊検査での役割						
	1. 非破壊検査の課題と中性子イメージング						
	56	4	1		219	左	139
	2. 非破壊検査技術の概要						
	56	4	2		221	左	141
	2・1 放射線探傷試験 (RT)						
	56	4	2	1	221	左	141
	2・2 超音波探傷試験 (UT)						
	56	4	2	2	221	右	141
	2・3 表面探傷試験						
	56	4	2	3	222	左	142
	2・4 渦流探傷試験 (ET)						
	56	4	2	4	223	左	143
	2・5 赤外線サーモグラフィ						
	56	4	2	5	223	左	143
	3. 中性子による放射線透過検査の特徴						
	56	4	3		223	右	143
	4. 産業における非破壊検査の現状と中性子イメージングの適用可能性						
	56	4	4		224	右	144
	4・1 鉄鋼業						
	56	4	4	1	224	右	144
	4・2 溶接						
	56	4	4	2	226	左	146
	4・3 プラスチック/複合材						
	56	4	4	3	227	左	147
	4・4 電子部品/セラミックス						
	56	4	4	4	227	右	147
	4・5 航空/宇宙産業						
	56	4	4	5	228	左	148
	4・6 コンクリート構造物						
	56	4	4	6	228	右	148
	4・7 発電設備・プラント						
	56	4	4	7	229	左	149
	4・8 食品・薬品・化学製品						
	56	4	4	8	229	右	149
	4・9 美術品・考古学遺物						
	56	4	4	9	229	右	149
	5. おわりに						
	56	4	5		229	右	149
応用 2 回	非破壊検査における中性子と X 線のイメージング画像の評価方法						
	1. はじめに						
	56	5	1		283	左	151
	2. 放射線透過検査の特徴						
	56	5	2		283	左	151
	2・1 検出器のコントラスト分解能と対象物の厚さ変化の識別度						
	56	5	2	1	283	右	151
	3. 検出感度 (空間分解能による影響)						
	56	5	3		286	左	154
	4. 放射線検査画像の評価方法						
	56	5	4		287	左	155
	4・1 画像解像度チャート						
	56	5	4	1	287	左	155
	4・2 X 線 RT における透過度計						
	56	5	4	2	288	左	156
	4・3 NRT における線質計, 像質計						
	56	5	4	3	289	左	157
	5. おわりに						
	56	5	5		290	右	158
応用 3 回	中性子イメージングの航空・宇宙, 自動車, 防衛産業への応用						
	1. はじめに						
	56	6	1		339	左	159

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
2. 航空機用ガスタービンプレードの撮影例	56	6	2		339	右	159
3. 航空機機体ハニカム構造の腐食検査	56	6	3		341	右	161
4. 宇宙用機器の NRT 像検査の実例	56	6	4		345	左	165
5. 自動車用部品の撮影例	56	6	5		348	左	168
6. 花火・弾薬等の撮影例	56	6	6		348	右	168
7. おわりに	56	6	7		349	左	169
応用 4 回 中性子イメージングによる材料工学の研究							
1. はじめに	56	7	1		417	左	171
2. 散乱中性子の影響がある事例	56	7	2		417	右	171
2・1 分散法を応用した事例	56	7	2	1	418	左	172
2・2 半影法を応用した事例	56	7	2	2	418	右	172
2・3 スリット法を応用した事例	56	7	2	3	418	右	172
2・4 ハニカムコリメータによる散乱線除去法	56	7	2	4	420	左	174
3. γ 線の影響がある事例	56	7	3		421	右	175
4. 中性子スペクトルに係わる事例	56	7	4		424	左	178
4・1 Bragg カットオフに関連する事例	56	7	4	1	424	右	178
4・2 フィルタによる実効エネルギー調整の事例	56	7	4	2	425	左	179
4・3 単色冷中性子を用いる事例	56	7	4	3	425	右	179
4・4 タイムオブフライト (TOF) による単色中性子イメージングの事例	56	7	4	4	426	右	180
5. まとめ	56	7	5		428	右	182
応用 5 回 中性子イメージングの流体力学への応用 - 1							
1. はじめに	56	8	1		487	左	185
2. 二相流の可視化・計測	56	8	2		487	右	185
3. 冷凍, 冷却機器の可視化	56	8	3		489	左	187
応用 6 回 中性子イメージングの流体力学への応用 - 2							
4. 燃料電池	56	9	4		585	右	193
5. 流動層	56	9	5		586	右	194
6. 日本原子力研究開発機構における産業利用	56	9	6		589	左	197
6・1 ポリエチレン中の水トリー劣化観察	56	9	6	1	589	左	197

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
6・2 微細流管内冷媒挙動の検出	56	9	6	2	589	右	197
6・3 水素吸蔵合金等中の水素拡散過程可視化							
	56	9	6	3	589	右	197
6・4 自動車用機器の非破壊可視化							
	56	9	6	4	590	右	198
応用7回 中性子イメージングの原子力工学への応用							
1. はじめに	56	10	1		699	左	201
2. 核燃料・材料試験	56	10	2		699	右	201
3. 液体金属流れへの応用	56	10	3		702	左	204
4. 原子力機器内二相流の可視化と計測							
	56	10	4		704	右	206
応用8回 中性子イメージングの美術品・史跡出土品検査への応用							
1. はじめに	56	11	1		763	左	211
2. 金属製容器状資料及び内容物の可視化							
	56	11	2		764	左	212
2・1 兵庫県和田山町一乗寺経塚出土経筒							
	56	11	2	1	764	左	212
2・2 経巻の塊と青銅製経筒	56	11	2	2	764	右	212
2・3 青銅製誕生仏	56	11	2	3	765	左	213
2・4 和歌山県根来寺出土賢瓶	56	11	2	4	765	右	213
3. 桜井古墳群淡佐支7号墳出土青銅鏡							
	56	11	3		767	左	215
4. 保存処理中の文化財への応用	56	11	4		768	左	216
5. 繊維製品の分析への応用	56	11	5		768	右	216
5・1 風返稲荷山古墳出土馬具	56	11	5	1	768	右	216
5・1・1 鉄地金銅張雲珠	56	11	5	1	768	右	216
5・1・2 鉄地金銅張辻金具	56	11	5	1	770	右	218
5・1・3 鉄地金銅張杏葉	56	11	5	1	771	右	219
5・2 繊維製品の分析のまとめ	56	11	5	2	772	左	220
6. 芸術の分野への応用	56	11	6		773	左	221
7. 現状と将来	56	11	7		773	右	221
応用9回 中性子イメージングの生物学への応用							
1. はじめに	56	12	1		827	左	225
2. 花卉中の水分分布測定への応用	56	12	2		827	右	225
3. 土壌中における根部研究への応用							
	56	12	3		829	右	227
4. 樹木研究への応用	56	12	4		830	右	228
5. その他の植物利用への応用	56	12	5		831	右	229
6. 医学利用等	56	12	6		832	左	230

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
7. まとめ	56	12	7		833	右	231
応用10回 中性子イメージングの医学への応用							
1. はじめに	56	12	1		837	左	235
2. 小動物, 臓器等の中性子イメージング							
	56	12	2		837	右	235
2・1 生体の非観血的画像	56	12	2	1	838	左	236
2・2 摘出臓器の画像	56	12	2	2	839	右	237
2・3 ヒトへの応用例	56	12	2	3	839	右	237
2・4 生体, 摘出臓器への利用の展望							
	56	12	2	4	840	左	238
3. 歯科領域への利用	56	12	3		840	右	238
3・1 歯科試料	56	12	3	1	841	右	239
3・2 歯科材料の NR の例	56	12	3	2	841	右	239
3・3 歯科学への利用の展望	56	12	3	3	843	左	241
4. 中性子捕捉療法のための ¹⁰ Bの定量							
	56	12	4		843	左	241
4・1 NCAR 画像の取得	56	12	4	1	843	右	241
4・2 NCAR 像の画質	56	12	4	2	844	左	242
4・3 ¹⁰ B濃度の定量と ¹⁰ B分布図の取得							
	56	12	4	3	845	左	243
4・4 マイクロドシメトリの試み	56	12	4	4	845	右	243
4・5 BNCT への利用の展望	56	12	4	5	846	左	244
5. まとめ	56	12	5		846	左	244
応用11回 中性子イメージングの課題と展望							
1. 始めに	57	3	1		207	左	247
2. 技術上の問題	57	3	2		207	右	247
2・1 中性子源とその強度	57	3	2	1	207	右	247
2・2 中性子ビーム関連	57	3	2	2	207	右	247
2・3 画像取得関連	57	3	2	3	209	左	249
3. 工業利用	57	3	3		211	左	251
3・1 中性子源と可搬性	57	3	3	1	211	左	251
3・2 放射化	57	3	3	2	211	右	251
3・3 事業上の使い勝手	57	3	3	3	212	左	252
3・4 業務内容と画像の秘匿性	57	3	3	4	212	左	252
3・5 経費と維持費	57	3	3	5	212	右	252
3・6 資格と教育	57	3	3	6	213	左	253
4. ビーム及び画像の規格化	57	3	4		213	右	253
4・1 規格化の現状	57	3	4	1	213	右	253
4・2 他の規格	57	3	4	2	215	左	255

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
5. 国際協力	57	3	5		216	左	256
6. おわりに	57	3	6		216	右	256
応用12回 国内外の中性子イメージング設備							
1. はじめに	57	5	1		329	左	259
2. 原子炉中性子源を利用した中性子イメージング設備							
	57	5	2		329	右	259
2・1 JRR-2	57	5	2	1	329	右	259
2・2 JRR-4	57	5	2	2	330	右	260
2・3 NSRR	57	5	2	3	331	左	261
2・4 JRR-3M	57	5	2	4	331	右	261
2・5 KUR	57	5	2	5	333	左	263
2・6 武蔵工業大学炉	57	5	2	6	333	右	263
2・7 立教大学炉	57	5	2	7	335	左	265
2・8 近畿大学炉	57	5	2	8	335	右	265
2・9 東京大学高速中性子源炉弥生							
	57	5	2	9	335	右	265
3. 加速器中性子源を利用した中性子イメージング設備							
	57	5	3		336	左	266
3・1 住重試験検査	57	5	3	1	336	左	266
3・2 日本製鋼所	57	5	3	2	336	右	266
3・3 その他の加速器中性子源を利用した中性子ラジオグラフィ装置							
	57	5	3	3	337	左	267
4. 放射性同位体中性子源を利用した中性子イメージング設備							
	57	5	4		338	左	268
4・1 ²⁵² Cf 熱中性子ラジオグラフィ装置							
	57	5	4	1	338	左	268
4・2 ¹²⁴ Sb-Be 中性子ラジオグラフィ装置							
	57	5	4	2	338	右	268
5. 核破砕反応中性子源を利用した中性子イメージング設備							
	57	5	5		339	左	269
6. 国外の中性子イメージング設備	57	5	6		339	右	269
6・1 ILL-HFR	57	5	6	1	341	左	271
6・2 HMI-BER II	57	5	6	2	341	右	271
6・3 CEA-ORPHEE	57	5	6	3	342	左	272
6・4 TUM-FRM-II	57	5	6	4	342	右	272
6・5 KFKI AEKI-BRR	57	5	6	5	342	右	272
6・6 NIST-NBSR	57	5	6	6	343	左	273
6・7 PSI-SINQ	57	5	6	7	344	左	274

回数・章節・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
6・8 その他の特徴ある中性子イメージング設備	57	5	6	8	345	左	275
7. まとめ	57	5	7		348	左	278
最終回 終章——中性子ラジオグラフィから中性子イメージングへ	57	5			351	左右	281

図・写真の総目録

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基1図1 熱中性子に対する質量減弱係数	56	4	1		213	左右	11
基1図2 中性子散乱の模式図	56	4	2	1	214	左	12
基1図3 S波散乱の波動関数 $u_0(r)$ と散乱長 α	56	4	2	1	215	右	13
基1図4 酸素の中性子全断面積のエネルギー依存性	56	4	2	2	217	右	15
基2図1 原子の座標の取り方	56	5	2		273	右	19
基2図2 波数ベクトルの関係	56	5	2		274	左	20
基2図3 一般の結晶の位置座標ベクトル	56	5	2		274	右	20
基2図4 干渉性散乱における多結晶の全散乱断面積	56	5	2		274	右	20
基2図5 ベリリウムの全断面積（干渉性断面積の例）	56	5	2		275	左	21
基2図6 鉛の液体，多結晶，単結晶的状态の全断面積	56	5	2		275	右	21
基2図7 中性子の屈折の様子	56	5	3		276	右	22
基2図8 金属水素化物の水素の断面積	56	5	4		277	右	23
基2図9 軽水素の全断面積のエネルギー依存の変化（非干渉性断面積の例）	56	5	4		278	左	24
基2図10 熱中性子入射の場合の透過スペクトルの試料厚さによる変化	56	5	5		279	左右	25
基2図11 冷中性子入射の場合の透過スペクトルの試料厚さによる変化	56	5	5		280	左右	26
基3写真1 大学入試センター試験用 IC プレーヤー	56	6	2		330	左	30
基3写真2 IC プレーヤーの放射線透視像 (a), (b)	56	6	2		330	左右	30
基3写真3 0.40+/-0.02nm の単色中性子で透視撮像した10nm 厚さの鉄溶接部	56	6	2		331	右	31

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基 3 図 1 放射線と物質との相互作用 (a), (b)	56	6	3	1	332	左右	32
基 3 図 2 物質中における相互作用による中性子の減衰	56	6	3	1	332	右	32
基 3 図 3 中性子イメージングシステムの構成	56	6	3	2	333	左	33
基 3 図 4 中性子イメージング直接法と間接法の概要 (a), (b)	56	6	4	1	333	右	33
基 3 図 5 各種中性子 2 次元検出器の特性比較	56	6	4	2	334	左右	34
基 3 図 6 大きな吸収を持つ元素の中性子全断面積のエネルギー依存性	56	6	4	4	335	右	35
基 3 図 7 冷中性子領域における中性子全断面積のエネルギー依存性	56	6	4	4	336	左	36
基 3 図 8 照射場における定量性を妨げる成分	56	6	4	5	336	右	36
基 3 図 9 散乱中性子線除去配置法の比較 (a)~(d)	56	6	4	5	336	右	36
基 3 図 10 γ 線の影響を除去するためにイメージングプレート (IP) 又は X 線フィルムを 2 重に設置した直接法	56	6	4	5	336	右	36
基 4 図 1 中性子イメージング関連の基本因子	56	7	1		404	左右	40
基 4 図 2 代表的な撮像系の相対的階調分解能	56	7	5	2	410	左右	46
基 5 図 1 研究用中性子源の発展	56	8	1		479	右	53
基 5 図 2 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の完成予想鳥瞰図	56	8	1		480	左右	54
基 5 図 3 住重試験検査サイクロトロン中性子ラジオグラフィ装置	56	8	3		483	左	57
基 5 図 4 核破碎反応の概念図	56	8	4		483	左右	57
基 5 図 5 研究用原子炉 JRR-3 炉心プール鳥瞰図	56	8	5		484	右	58
基 6 図 1 中性子源, フィルタ, ダイヤフラム, 最大撮像領域の関係と中性子の飛跡	56	9	2	3	575	左	63
基 6 図 2 領域 D_0 の均質領域を得るための領域 D_s の均質中性子源とダイヤフラム寸法 D の関係	56	9	2	4	576	左	64
基 6 図 3 可変コリメータ (a)~(d)	56	9	2	4	576	右	64
基 6 図 4 飛行管内散乱防止の概念図 (a), (b)	56	9	2	5	577	左	65
基 6 図 5 ビームのフィルタ効果	56	9	2	6	577	右	65

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基6図6 フィルタの設置位置とその効果	56	9	2	6	578	左	66
基6図7 基本的な中性子ビームの幾何学的因子と中性子強度の関係	56	9	3		579	右	67
基7図1 様々な中性子ラジオグラフィ撮像方式	56	10	2	1	689	左右	75
基7図2 米国NDS社製 APSTNG を用いた麻薬、爆発物等検査装置	56	10	2	4	693	右	79
基7図3 APSTNG を用いた麻薬 (コカイン)、爆発物 (C-4) 等検査結果	56	10	2	4	693	右	79
基7図4 フィルムの線量対黒化度曲線 (a), (b)	56	10	3	2	695	左	81
基8図1 (1)FBP, (2)CV, 及び(3)FT 法の計算処理の流れ図	56	11	3	1	754	左右	88
基8図2 FBP 方法の模式図	56	11	3	1	755	左右	89
基9図1 冷却型 CCD による透過像	57	1	2	1	79	右	99
基9図2 HARP 管カメラに木の葉の透過像	57	1	3	2	81	左	101
基9図3 赤色用 CCD の出力とシャッタースピードとの関係	57	1	3	4	82	左右	102
基9図4 25cc エンジンの動画像のひとつコマ	57	1	3	4	82	左	102
基9図5 130万画素 CMOS カメラによる RISO の感度インジケータの透過像 (a)~(d)	57	1	3	4	83	左右	103
基9図6 130万画素 CMOS カメラによるハードディスクの透過像	57	1	3	4	83	左	103
基9図7 動画用130万画素 CMOS カメラによる CT 画像	57	1	3	4	83	右	103
基9図8 Cf 中性子源を用いたフォトン・カウンティング法による中性子ラジオグラフィシステム (a)~(d)	57	1	4		84	左右	104
基9図9 フォトン・カウンティング法で積算後の画像	57	1	4		85	左右	105
基10図1 サイクル試験実施後のテスト用タンク中の水素貯蔵合金の水素濃度の可視化 (a)~(c)	57	2	2	1	154	左右	108
基10図2 原子炉模擬燃料集合体中の気液 2 相流の水分率の CT による計測 (a), (b)	57	2	2	1	154	左右	108
基10図3 原子炉模擬燃料集合体中の沸騰流の可視化 (a), (b)	57	2	2	1	155	左右	109
基10図4 ドイツ南部で発見された中世の剣の装飾の調査 (a), (b)	57	2	2	1	156	左右	110
基10図5 AERTEST 原子炉で得られたタービンブレードの CT データの色々な方向からの 3 次元表示 (a)~(c)	57	2	2	1	157	左右	111

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基10図6 コンクリート中の鉄板の腐食過程の透過像と断層像による可視化 (a), (b)	57	2	2	1	157	左右	111
基10図7 とうもろこしの実の CT による解析 (a), (b)	57	2	2	1	157	左右	111
基10図8 冷中性子による直径15cm のフィルタの断層像	57	2	2	2	158	左	112
基10図9 冷中性子による積層電池の出力電流値と発生した水分の3次元 CT による可視化 (a)~(d)	57	2	2	2	158	左右	112
基10図10 京都大学研究用原子炉 (KUR) の極冷中性子実験孔で取得されたカーネーション切花の透過像及び断層像	57	2	2	2	159	左	113
基10図11 高速中性子 CT (a), (b)	57	2	2	3	159	左右	113
基10図12 ライナックを利用した中性子共鳴吸収 CT による核種分布の非破壊分析 (a), (b)	57	2	2	4	160	左右	114
基10図13 ダイナミック CT による細管中の水の動きのアニメーション表示のひとコマ	57	2	3		160	右	114
基10図14 中性子イメージ・インテンシファイアを用いた高速 CT の試み (a), (b)	57	2	3		161	左右	115
基10図15 フェーズコントラスト CT による異種金属境界面の識別 (a), (b)	57	2	4	1	161	左右	115
基10図16 屈折コントラストによるアルミニウム棒の3次元 CT	57	2	4	2	162	左右	116
基10図17 真ちゅう製試料の吸収コントラスト, 屈折コントラスト, 及び超小角散乱コントラスト法による断層像の比較	57	2	4	3	162	左右	116
基10図18 分極中性子断層法による小さな永久磁石の浮遊磁場の断層像	57	2	4	4	163	右	117
基10図19 ダイナミック CT で動いた水に起因するアーティファクトを利用した水の定量化 (a), (b)	57	2	5	7	164	右	118
基11図1 HMI における冷中性子ラジオグラフィ装置 (CONRAD) の概要	57	3	2		200	左右	122
基11図2 フェイズコントラスト撮像体系	57	3	2		201	左右	123
基11図3 フェイズコントラストと従来法との比較 (注射針)	57	3	2		201	左	123
基11図4 フェイズコントラストと従来法との比較 (アルミニウムステップ)	57	3	2		201	左右	123
基11図5 極冷中性子 (VCN) を用いた中性子屈折効果によるアルミニウム溶接部の観察	57	3	3		203	左右	125
基11図6 ストロボ撮影原理図	57	3	4		203	右	125
基11図7 ストロボ撮影用試料: ディーゼルエンジン用燃料ノズル	57	3	4		203	右	125

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基11図8 ストロボ撮影結果：ディーゼルエンジン用燃料ノズルにおけるキャビテーションの可視化	57	3	4		204	左右	126
基11図9 X線と中性子によるイメージの比較：ペースメーカー	57	3	5		204	右	126
基11図10 X線と中性子によるイメージの比較：パラフィンを付着させた鉄製「やじり」模型	57	3	5		205	左右	127
基12図1 飛行時間 (TOF) 法による中性子透過画像のスペクトル依存性測定方法	57	4	2		268	左右	130
基12図2 飛行時間法を応用した中性子スペクトルによる画像の変化	57	4	2		268	左右	130
基12図3 ブラッグカットオフ前後の波長による多結晶物質の強調 (a)～(c)	57	4	3		269	左右	131
基12図4 中性子飛行時間法による歪み測定	57	4	3		270	左右	132
基12図5 ブラッグカットオフ前後の単色中性子による残留内部応力の観察	57	4	3		270	左	132
基12図6 中性子共鳴吸収法の測定原理	57	4	4		271	左右	133
基12図7 中性子共鳴吸収法の測定体系	57	4	4		271	左右	133
基12図8 中性子共鳴吸収法の測定配置及び測定結果	57	4	4		272	左右	134
応1図1 超音波垂直法の原理	56	4	2	2	221	左右	141
応1図2 磁粉探傷の原理 (a), (b)	56	4	2	3	222	左	142
応1図3 漏洩磁束探傷の原理	56	4	2	3	222	右	142
応1図4 蛍光浸透探傷の原理	56	4	2	3	222	右	142
応1図5 渦流探傷法の原理	56	4	2	4	223	左	143
応1図6 赤外線サーモグラフィの原理	56	4	2	5	223	右	143
応1図7 鋼板の製造ラインにおける超音波検査の概念図	56	4	4	1	225	左右	145
応1図8 鋼管の製造ラインにおける渦流探傷法の概念図	56	4	4	1	226	左	146
応1図9 溶接欠陥の例	56	4	4	2	226	右	146
応1図10 航空機検査用の中性子イメージング装置略図	56	4	4	5	228	左	148
応2図1 放射線透過試験における透過成分と非画像成分	56	5	2	1	285	左右	153
応2図2 窒化ケイ素の材厚と検出限界欠陥厚さの関係	56	5	2	1	286	左	154
応2図3 コリメータ比L/Dにより決まる半影の大きさ	56	5	3		286	右	154
応2図4 X線解像度測定用チャートの例	56	5	4		287	左	155

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応 2 図 5 X 線解像度測定用チャートの画像例	56	5	4		287	右	155
応 2 図 6 XRT 用透過度計 (a), (b)	56	5	4	2	288	左右	156
応 2 図 7 NRT 用の線質計 (BPI) (ASTM 規格)	56	5	4	3	289	左	157
応 2 図 8 NRT 用の像質計 (SI) (ASTM 規格)	56	5	4	3	289	左	157
応 2 図 9 NRT 用線質計・像質計の中性子画像 (a), (b)	56	5	4	3	290	左	158
応 3 図 1 航空機エンジン用タービンプレードの放射線透過像 (a)~(d)	56	6	2		341	左右	161
応 3 図 2 航空機エンジンタービンプレード (a), (b)	56	6	2		342	左右	162
応 3 図 3 ガスタービンノズルのコーキングの様子	56	6	2		342	左	162
応 3 図 4 航空機ハニカム構造	56	6	3		342	左	162
応 3 図 5 航空機の腐食検査用中性子イメージング装置のいろいろ (a)~(d)	56	6	3		343	左右	163
応 3 図 6 航空機ハニカム構造の NRT 像 (a)~(c)	56	6	3		343	左右	163
応 3 図 7 ヘリコプターローターブレードの放射線透過像 (a)~(c)	56	6	3		344	左右	164
応 3 図 8 延時起爆管の放射線透過像 (a)~(c)	56	6	4		344	左右	164
応 3 図 9 導爆管の NRT 像 (a)~(c)	56	6	4		345	左右	165
応 3 図 10 隔壁型起爆管 2 種類の NRT 像・XRT 像 (a), (b)	56	6	4		346	左右	166
応 3 図 11 宇宙ロケット用分離ナットの放射線透過像 (a)~(c)	56	6	4		346	左右	166
応 3 図 12 自動車キャブレターの放射線透過像 (a), (b)	56	6	5		347	左右	167
応 3 図 13 自動二輪車のエンジンの外観と NRT 像	56	6	5		347	左右	167
応 3 図 14 自動二輪車エンジンの NRT・XRT 像 (a), (b)	56	6	5		347	左右	167
応 3 図 15 BMW エンジンの 1000rpm 回転の中性子線動画像	56	6	5		348	右	168
応 3 図 16 花火・弾薬の NRT・XRT 像 (a)~(c)	56	6	6		349	左右	169

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応 4 図 1 散乱中性子による“にじみ効果”及び“エッジ効果”	56	7	2		418	左	172
応 4 図 2 エレクトロトランスポート (ET) 現象における PdH の NR 像 (a)~(c)	56	7	2		418	左	172
応 4 図 3 高速中性子ラジオグラフィにおける散乱中性子の影響を取り除いた金属製ブロック (a), (b)	56	7	2	1	419	左右	173
応 4 図 4 中性子ビーム実効断面積測定用線質計 (a), (b)	56	7	2	2	419	左	173
応 4 図 5 燃料棒に含まれる Gd 中性子吸収体像	56	7	2	2	419	右	173
応 4 図 6 円柱形状金属等バンドルの CT 再構成過程 (a)~(d)	56	7	2	3	420	左右	174
応 4 図 7 ハニカムコリメータによる散乱中性子の除去法とそれを利用した定量的 CT (a)~(c)	56	7	2	4	421	左	175
応 4 図 8 点散乱関数を用いる散乱中性子の補正と土壌中の水分評価の実施例 (a), (b)	56	7	2	4	421	右	175
応 4 図 9 照射による加圧水型原子炉 (PWR) 燃料ペレットの高密度化とその NR 像及び評価 (a), (b)	56	7	3		422	左右	176
応 4 図 10 照射済み UO ₂ 燃料棒の Dy-IP による NR 像	56	7	3		422	右	176
応 4 図 11 Dy-IP による照射済み核破砕ターゲットの撮像例	56	7	3		423	左	177
応 4 図 12 照射済み核破砕ターゲットの NR 像の解析結果 (a), (b)	56	7	3		423	右	177
応 4 図 13 鉄溶接部の波長0.54nm, 0.40nm 及び0.32nm の中性子透視像	56	7	4	3	425	左	179
応 4 図 14 単色中性子による走査型中性子トモグラフィ (a)~(c)	56	7	4	3	426	左	180
応 4 図 15 2 波長中性子イメージング (a)~(c)	56	7	4	3	426	左	180
応 4 図 16 (a)同じ曲管内の異なった CT 値の 3 次元 CT, (b)永久磁石の偏極中性子による磁力線漏れを表す中性子 CT	56	7	4	3	427	左右	181
応 4 図 17 熱外中性子共鳴吸収法を利用した CT による物体内部の温度測定 (a), (b)	56	7	4	4	428	左右	182
応 4 図 18 高速中性子共鳴吸収に TOF を組み合わせて特定核種のみを画像化する方法 (a), (b)	56	7	4	4	428	左右	182
応 5 図 1 冷媒 R22を用いたアキュムレータとコンプレッサのラジオグラフィ画像 (a), (b)	56	8	3		490	左	188

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応 5 図 2 プレート熱交換器の構造	56	8	3		490	右	188
応 5 図 3 冷却型 CCD カメラによる静止画像から得られたボイド率分布 (a)~(c)	56	8	3		491	左	189
応 5 図 4 分流器での冷媒挙動 (a)~(c)	56	8	3		491	右	189
応 5 図 5 アルミニウム細管内の冷媒の沸騰流 (a), (b)	56	8	3		491	左右	189
応 5 図 6 らせん管内気液二相流のラジオグラフィ画像 (a), (b)	56	8	3		492	左	190
応 5 図 7 二相流体ループで用いられるコールドプレート (a), (b)	56	8	3		492	右	190
応 6 図 1 電解質膜内の水分分布可視化装置	56	9	4		586	左	194
応 6 図 2 可視化した JARI 標準燃料電池	56	9	4		586	左	194
応 6 図 3 冷却型 CCD カメラを用いた可視化画像 (a), (b)	56	9	4		587	左	195
応 6 図 4 水が入った時の水分分布の画像と水分量の時間変化 (a), (b)	56	9	4		587	左右	195
応 6 図 5 セグリゲーションの可視化	56	9	5		588	左右	196
応 6 図 6 気泡周りの速度分布計測の例	56	9	5		588	左右	196
応 6 図 7 改良型水素吸蔵合金タンク内部の可視化 (a), (b)	56	9	6	3	590	左	198
応 6 図 8 車載エアコン用コンプレッサ内部の液面可視化	56	9	6	4	590	左	198
応 7 図 1 未照射燃料ピンの中性子線と X 線の画像	56	10	2		700	左右	202
応 7 図 2 濃縮・天然ウランペレットの中性子 CT 画像と CT 値の分布 (A)~(D)	56	10	2		701	左右	203
応 7 図 3 水素を含んだジルカロイ鞘管の中性子断層画像	56	10	2		701	左右	203
応 7 図 4 ジルカロイ管の水素濃度と PSL の関係	56	10	2		702	左	204
応 7 図 5 トレーサ粒子法で計測した瞬時速度	56	10	3		703	左右	205
応 7 図 6 ニュートン合金内の水滴の蒸発	56	10	3		703	左右	205
応 7 図 7 LIM の可視化	56	10	3		703	左右	205
応 7 図 8 障害物内包加熱円管内を流れる沸騰二相流の時間平均ボイド率分布	56	10	4		704	左右	206
応 7 図 9 稠密14本発熱バンドル内を流れる沸騰二相流の3次元ボイド率分布 (a), (b)	56	10	4		705	左右	207

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応7図10 片面発熱矩形流路内を流れるサブクール沸騰流の瞬時ボイド率分布	56	10	4		705	左右	207
応7図11 稠密14本発熱バンドル内を流れる沸騰二相流の瞬時ボイド率分布の時間変化	56	10	4		706	左	208
応8図1～3 一乗寺経塚出土経筒の概観, NR 画像, XR 画像	56	11	2	1	764	左中右	212
応8図4～6 青銅製経筒の概観, NR 画像, XR 画像	56	11	2	2	765	左中右	213
応8図7～9 誕生仏の概観, NR 画像, XR 画像	56	11	2	3	766	左中右	214
応8図10～12 根来寺出土賢瓶の概観, NR 画像, XR 画像	56	11	2	4	766	左中右	214
応8図13 根来寺出土賢瓶内部の遺物	56	11	2	4	767	左	215
応8図14 桜井古墳群渋谷7号墳出土青銅鏡 (概観, XR 画像, NR 画像)	56	11	3		768	左右	216
応8図15～18 宇洞ヶ谷横穴出土保存処理鉄剣の概観, 修復状態図, NR 画像, XR 画像	56	11	4		769	左右	217
応8図19～22 鉄地金銅張雲珠の概観, NR 画像, GR 画像, NR 強調画像	56	11	5	1	770	左右	218
応8図23～25 辻金具の概観, NR 画像, GR 画像	56	11	5	1	771	左右	219
応8図26～29 杏葉の概観, NR 画像, GR 画像, NR 画像拡大	56	11	5	1	772	左右	220
応9図1 スプレーカーネーション切り花の萎凋前後における中性子 CT イメージ	56	12	2		828	左右	226
応9図2 真空予冷影響測定試料 赤小菊	56	12	2		828	右	226
応9図3 真空予冷前後の菊の葉の中性子イメージ	56	12	2		829	左右	227
応9図4 朝鮮人参育成用ポット	56	12	3		830	左	228
応9図5 土壌中朝鮮人参の中性子 CT 画像	56	12	3		830	右	228
応9図6 スギ苗木へ暗色枝枯病菌を接種する様子	56	12	4		831	左	229
応9図7 菌を接種したスギ苗木の中性子イメージングで撮像する様子	56	12	4		831	右	229
応9図8 スギ苗木病原部の中性子イメージ	56	12	4		832	左中右	230
応9図9 がん (VX-2) に罹患したウサギ肝臓の中性子イメージ	56	12	6		833	左	231
応10図1 熱中性子, NIP を用いた, マウス全身の画像 (a), (b)	56	12	2	1	838	左	236

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応10図2 ビディコンカメラによる NR 画像 (画像処理) (a), (b)	56	12	2	1	839	左	237
応10図3 正常歯のスライス (a), (b)	56	12	3	2	842	左	240
応10図4 モリソン冠装着の歯	56	12	3	2	842	右	240
応10図5 金合金インレーと根管充填の歯	56	12	3	2	842	右	240
応10図6 アマルガムと複合樹脂の充填歯のスライス	56	12	3	2	842	右	240
応10図7 金属床の義歯	56	12	3	2	843	左	241
応10図8 立教大学 TRIGA-II 型原子炉から熱中性子フルエンスを照射して取得した NCAR 像 (a)~(c)	56	12	4	1	844	左	242
応10図9 ^{10}B 溶液注入から60時間経過したマウスの NCAR 像 (a)~(d)	56	12	4	2	844	右	242
応10図10 腫瘍部内の α , Li 飛跡のマッピング (^{10}B 濃度分布)	56	12	4	3	845	右	243
応10図11 CR-39上の腫瘍細胞のレリーフ像と α もしくは Li の飛跡	56	12	4	4	846	左	244
応12図1 JRR-2 中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	1	331	左右	261
応12図2 NSRR 中性子ラジオグラフィ装置 (NRG-A)	57	5	2	3	331	左右	261
応12図3 JRR-3 M 熱中性子ラジオグラフィ装置コリメータ部	57	5	2	4	332	左右	262
応12図4 JRR-3 M 熱中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	4	332	左右	262
応12図5 JRR-3 M 冷中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	4	333	左右	263
応12図6 KUR 熱中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	5	333	左右	263
応12図7 KUR 冷中性子(CN-3)ラジオグラフィ装置	57	5	2	5	334	左右	264
応12図8 KUR 極冷中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	5	334	左右	264
応12図9 武蔵工業大学炉中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	6	334	左右	264
応12図10 立教大学炉中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	7	335	左右	265
応12図11 近畿大学炉中性子ラジオグラフィ装置	57	5	2	8	335	左	265
応12図12 東京大学弥生炉中性子ラジオグラフィに利用可能な実験孔	57	5	2	9	336	左右	266

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応12図13 小型サイクロトロン加速器中性子ラジオグラフィ装置 (住重試験検査)	57	5	3	1	336	右	266
応12図14 ベビーサイクロトロン加速器中性子ラジオグラフィ装置 (日本製鋼所)	57	5	3	2	337	左	267
応12図15 ホットラボプールに設置された中性子ラジオグラフィ装置 (名古屋大学)	57	5	3	3	337	右	267
応12図16 バンデグラフ中性子ラジオグラフィ実験装置 (大阪府立放射線中央研究所)	57	5	3	3	337	右	267
応12図17 熱中性子ビーム発生装置 (豊田中央研究所)	57	5	3	3	338	左	268
応12図18 ^{252}Cf 熱中性子ラジオグラフィ装置 (日本原子力研究開発機構)	57	5	4	1	338	左	268
応12図19 可搬型 ^{124}Sb 中性子ラジオグラフィ装置 (大阪府立放射線中央研究所)	57	5	4	2	338	右	268
応12図20 世界の高性能中性子イメージング設備	57	5	6		341	左	271
応12図21 ILL 中性子ラジオグラフィ装置 (NEUTROGRAPH)	57	5	6	1	341	右	271
応12図22 HMI 中性子ラジオグラフィ装置 (CONRAD)	57	5	6	2	341	左右	271
応12図23 ORPHEE 中性子ラジオグラフィ装置	57	5	6	3	342	左右	272
応12図24 TUM 中性子ラジオグラフィ装置 (ANTARES)	57	5	6	4	343	左右	273
応12図25 TUM 中性子ラジオグラフィ装置 (ANTARES) ビームライン	57	5	6	4	343	左	273
応12図26 NIST 中性子ラジオグラフィ装置 (NIF)(平面図)	57	5	6	6	343	右	273
応12図27 NIST 中性子ラジオグラフィ装置 (NIF)(立体図)	57	5	6	6	344	左右	274
応12図28 PSI 中性子ラジオグラフィ装置 (NEUTRA)	57	5	6	7	344	左右	274
応12図29 PSI 冷中性子ラジオグラフィ装置 (ICON)	57	5	6	7	345	左右	275
応12図30 Harwell DIDO 中性子ラジオグラフィ装置 (6HGR9)	57	5	6	8	345	左右	275
応12図31 Harwell DIDO 中性子ラジオグラフィ装置 (6H[サブサーマル])	57	5	6	8	346	左右	276

回数・図番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応12図32 Petten HRF 中性子ラジオグラフィ装置	57	5	6	8	346	左右	276
応12図33 PSI SAPHIR 中性子ラジオグラフィ装置	57	5	6	8	346	左右	276
応12図34 CRNL NRU 中性子ラジオグラフィ装置	57	5	6	8	347	左右	277
応12図35 SNL ACRR の a) 中性子ラジオグラフィ装置(HFNRF)及び b) 減速材容器とコリメータ	57	5	6	8	347	左右	277

表の総目録

回数・表番号・表題	巻	号	章	節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
基1表1 中性子の特性	56	4			212		10
基3表1 中性子イメージング直接法と間接法の比較	56	6			334		34
基3表2 中性子の分類	56	6			335		35
基3表3 γ 線の影響を除去するために用いられる各種配置によって求めた中性子減弱係数 μ_T の比較	56	6			337		37
基4表1 コンバーターフィルム系等の固有分解能	56	7			407		43
基4表2 中性子イメージングに利用されるエネルギー領域	56	7			412		48
基4表3 中性子線照射場における散乱中性子線量	56	7			414		50
基5表1 (α, n) 反応を用いた RI 中性子源	56	8			481		55
基5表2 (γ, n) 反応を用いた RI 中性子源	56	8			481		55
基5表3 自発核分裂を利用した RI 中性子源	56	8			482		56
基7表1 (a) 直接法に可能なコンバータ	56	10			688		74
基7表1 (b) 間接(転写)法に可能なコンバータ	56	10			688		74
基8表1 国際会議における NCT 論文発表数	56	11			752		86
基9表1 エレクトロニクス撮像法の原理と特徴	57	1			78		98
基9表2 ハードウェアとソフトウェアによる画像処理の比較	57	1			85		105
応1表1 非破壊検査の対象分野・対象物	56	4			220		140

回数・表番号・表題	巻 号	章 節	原本頁(上)	欄	通し頁(下)
応1表2 非破壊検査の対象部位・材料・形状と用いられる検査技術	56	4	220		140
応1表3 非破壊検査の種類と目的	56	4	221		141
応1表4 鋼管の検査における探傷法の比較	56	4	225		145
応1表5 溶接の探傷法	56	4	226		146
応3表1 現在、国内で利用可能な中性子イメージング施設	56	6	340		160
応3表2 中性子イメージングの産業応用例	56	6	340		160
応4表1 代表的な物質の Bragg カットオフエネルギー	56	7	424		178
応4表2 実効エネルギー測定用線質計による Bi フィルタ透過中性子の実効エネルギー	56	7	425		179
応5表1 熱中性子に対する減衰係数	56	8	489		187
応10表1 非観血的小動物の中性子ラジオグラフィ	56	12	839		237
応10表2 摘出臓器等の中性子ラジオグラフィの報告	56	12	840		238
応10表3 歯と歯科材料の熱中性子及び X 線 (30keV, 60keV) の線減弱係数	56	12	841		239
応11表1 中性子イメージングにおける諸限界	57	3	208		248
応11表2 熱外中性子イメージングに用いられるコンバータ	57	3	209		249
応11表3 中性子ラジオグラフィ関連の規格	57	3	214		254
応12表1 国内の中性子ラジオグラフィ装置仕様概要	57	5	330		260
応12表2 中性子ラジオグラフィとしての JRR-3M と J-PARC/JSNS の特徴比較	57	5	339		269
応12表3 国外の中性子ラジオグラフィ装置仕様概要	57	5	340		270