

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. 6

[技術情報室]

高レベル放射性物質研究施設における FBR再処理試験（その1）

— せん断・溶解・清澄試験 —

1989年12月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

に
う
ま

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



高レベル放射性物質研究施設におけるFBR再処理試験（その1）

－せん断・溶解・清澄試験－

実施責任者 大西紘一

報告者 山本隆一 豊田 修
山田雅人* 菊地憲治 仁科 博**
算用子裕孝 佐藤 学* 岩崎伊佐央*
田村 一* 松島和美** 栗林正和**

要 旨

期 間：1982年9月～1989年12月

目 的：高速炉燃料の再処理に関する基礎データの取得

要 旨：高レベル放射性物質研究施設（A系列）における1982年から1989年の約8年間で得られたFBR照射済燃料の前処理工程（せん断、溶解、清澄）での試験結果を報告するものである。本報告書は、主として溶解試験を重点に記載したものであり、ベンチスケール溶解試験とビーカースケール溶解試験から成るもので、ベンチスケール溶解試験は既設セル内溶解槽を用い14回の試験を実施した。

また、ビーカースケール溶解試験は、せん断片1片を用いガラス製小型容器にて初期硝酸濃度、溶解温度等をパラメータとした試験を実施したものである。これらについて得られた試験結果及び知見について取りまとめたものである。

* : 三菱重工(株)
** : 三井造船(株)
* : 検査開発(株)
** : 常陽産業(株)

も く じ

1. まえがき	1
2. 供試燃料	1
2-1 製造方法	1
2-2 炉心装荷位置	1
2-3 照射条件	2
2-4 供試燃料ペレット断面組織と照射履歴	2
3. 照射済燃料の溶解	3
3-1 ベンチケール溶解試験	3
3-1-1 試験方法	3
3-1-2 試験条件	4
3-1-3 溶解試験結果	4
3-1-4 試験成果	5
3-2 ビーカースケール溶解試験	16
3-2-1 試験方法	16
3-2-2 試験条件	16
3-2-3 溶解試験結果	16
3-2-4 試験成果	16
4. 不溶解残渣	25
5. Krの放出	27
6. せん断片粉末	28
7. FBR燃料再処理試験成果	29

リ ス ト

表1-1	CPFにおける高速炉燃料リサイクルホット試験	36
表2-1	供試燃料製造仕様	37
表2-2	照射条件	38
表3.1(1)	ベンチスケール溶解試験条件	50
表3.1(2)	ベンチスケール溶解試験条件	51
表3.1(3)	ベンチスケール溶解試験条件	52
表4.1	10ラン小型溶解条件	87
表4.2	12ラン小型溶解条件	88
表4.3	13ラン小型溶解条件	89
表4.4	14ラン小型溶解条件	90
表4.5	開口率	91
表5.1	不溶解性残渣発生率	175
表5.2	不溶解性残渣成分割合	177
表5.3	不溶解性残渣成分割合	178
表5.4	粒度分布計測定条件	180
表6.1(1)	せん断時と溶解時のKr放出割合	190
表6.2(2)	せん断時と溶解時のKr放出割合	191
表7.1	せん断粉末重量	194
図2.1	「常陽」MK-I照射用燃料ピン	39
図2.2	「常陽」MK-II照射用燃料ピン	40
図2.3	「常陽」MK-II C型特殊燃料照射用燃料ピン	41
図2.4	フェニックス照射用燃料ピン	42
図2.5	DFR照射用燃料ピン	43
図2.6	燃料集合体装荷位置	44
図3.1	せん断機	46
図3.2	ベンチスケール溶解槽	47
図3.3	バスケット	48
図3.4	オフガス処理系統図	49
図3.5	溶解特性曲線(1ラン)	53
図3.6	溶解特性曲線(2ラン)	54
図3.7	溶解特性曲線(3ラン)	55
図3.8	溶解特性曲線(4-1ラン)	56
図3.9	溶解特性曲線(4-2ラン)	57
図3.10	溶解特性曲線(4-3ラン)	58
図3.11	溶解特性曲線(4-4ラン)	59
図3.12	溶解特性曲線(5ラン)	60
図3.13	溶解特性曲線(6ラン)	61
図3.14	溶解特性曲線(7ラン)	62

図3.1 5	溶解特性曲線 (8ラン) -----	6 3
図3.1 6	溶解特性曲線 (9ラン) -----	6 4
図3.1 7	溶解特性曲線 (10ラン) -----	6 5
図3.1 8	溶解特性曲線 (11ラン) -----	6 6
図3.1 9	溶解特性曲線 (12ラン) -----	6 7
図3.2 0	溶解特性曲線 (13ラン) -----	6 8
図3.2 1	溶解特性曲線 (14ラン) -----	6 9
図3.2 2	溶解特性曲線 (プルトニウム富化度による影響) -----	7 0
図3.2 3	溶解特性曲線 (プルトニウム富化度による影響) -----	7 1
図3.2 3(a)	溶解速度プルトニウム富化度 -----	7 2
図3.2 4	溶解特性曲線 (初期硝酸濃度による影響) -----	7 3
図3.2 5	溶解速度と硝酸濃度 -----	7 4
図3.2 6	溶解特性曲線 (初期硝酸濃度による影響) -----	7 5
図3.2 8	溶解特性曲線 (初期硝酸濃度による影響) -----	7 6
図3.2 9	溶解特性曲線 (溶解温度による影響) -----	7 7
図3.3 0	溶解速度と溶解温度 -----	7 8
図3.3 1	溶解特性曲線 (溶解温度による影響) -----	7 9
図3.3 2	溶解特性曲線 (燃焼度による影響) -----	8 0
図3.3 3	溶解特性曲線 (燃焼度による影響) -----	8 1
図3.3 4	溶解速度と燃焼度 -----	8 2
図3.3 5	燃料ペレット径方向Pu, Uの濃度分布 -----	8 3
図3.3 6	燃料ペレット径方向金属状析出物 -----	8 4
図3.3 7	溶解特性曲線 (初期重金属による影響) -----	8 5
図4	ビーカースケール溶解試験装置 -----	8 6
図4.1	溶解特性曲線 (R10M0) -----	9 2
図4.2	溶解特性曲線 (R10M1) -----	9 3
図4.3	溶解特性曲線 (R10M2) -----	9 4
図4.4	溶解特性曲線 (R10M4) -----	9 5
図4.5	溶解特性曲線 (R10M5) -----	9 6
図4.6	溶解特性曲線 (R10M6) -----	9 7
図4.7	溶解特性曲線 (R10M7) -----	9 8
図4.8	溶解特性曲線 (R10M8) -----	9 9
図4.9	溶解特性曲線 (R10M9) -----	1 0 0
図4.1 0	溶解特性曲線 (R10M10) -----	1 0 1
図4.1 1	溶解特性曲線 (R10M11) -----	1 0 2
図4.1 2	溶解特性曲線 (R10M12) -----	1 0 3
図4.1 3	溶解特性曲線 (R10M13) -----	1 0 4
図4.1 4	溶解特性曲線 (12-01) -----	1 0 5
図4.1 5	溶解特性曲線 (12-02) -----	1 0 6
図4.1 6	溶解特性曲線 (12-03) -----	1 0 7

図4.17	溶解特性曲線 (12-05)	108
図4.18	溶解特性曲線 (12-06)	109
図4.19	溶解特性曲線 (12-27)	110
図4.20	溶解特性曲線 (12-28)	111
図4.21	溶解特性曲線 (12-31)	112
図4.22(1)	溶解特性曲線 (12-32)	113
図4.22(2)	溶解特性曲線 (12-33)	114
4.4.23	溶解特性曲線 (12-34)	115
図4.24	溶解特性曲線 (12-21)	116
図4.25	溶解特性曲線 (12-24)	117
図4.26	溶解特性曲線 (12-25)	118
図4.27	溶解特性曲線 (12-29)	119
図4.28	溶解特性曲線 (13-01)	120
図4.29	溶解特性曲線 (13-02)	121
図4.30	溶解特性曲線 (13-03)	122
図4.31	溶解特性曲線 (13-04)	123
図4.32	溶解特性曲線 (13-05)	124
図4.33	溶解特性曲線 (13-06)	125
図4.34	溶解特性曲線 (13-07)	126
図4.35	溶解特性曲線 (13-08)	127
図4.36	溶解特性曲線 (13-09)	128
図4.37	溶解特性曲線 (13-10)	129
図4.38	溶解特性曲線 (13-11)	130
図4.39	溶解特性曲線 (粉末)	131
図4.40	溶解特性曲線 (14-01)	132
図4.41	溶解特性曲線 (14-02)	133
図4.42	溶解特性曲線 (14-03)	134
図4.43	溶解特性曲線 (14-04)	135
図4.44	溶解特性曲線 (14-05)	136
図4.45	溶解特性曲線 (14-06)	137
図4.46	初期硝酸濃度による影響	138
図4.47	溶解速度と初期硝酸濃度	139
図4.48	初期硝酸濃度による影響	140
図4.49	溶解速度と初期硝酸濃度	141
図4.50	初期硝酸濃度による影響	142
図4.51	溶解速度と初期硝酸濃度	143
図4.52	初期硝酸濃度による影響	144
図4.53	溶解速度と初期硝酸濃度	145
図4.54	溶解温度による影響	146
図4.55	溶解速度と溶解温度	147

図4.5 6	溶解温度による影響	1 4 8
図4.5 7	溶解速度と溶解温度	1 4 9
図4.5 8(1)	溶解温度による影響	1 5 0
図4.5 8(2)	溶解温度による影響	1 5 1
図4.5 9	溶解速度と溶解温度	1 5 2
図4.6 0	初期重金属濃度による影響	1 5 3
図4.6 1	溶解速度と初期重金属濃度	1 5 4
図4.6 2	初期重金属濃度による影響	1 5 5
図4.6 3	溶解速度と初期重金属濃度	1 5 6
図4.6 4(1)	初期重金属濃度による影響	1 5 7
図4.6 4(2)	初期重金属濃度による影響	1 5 8
図4.6 5(1)	溶解速度と初期重金属濃度	1 5 9
図4.6 5(2)	初期重金属濃度による影響	1 6 0
図4.6 6(a), (b)	溶解特性曲線 (燃焼度による影響)	1 6 1
図4.6 6(c)	燃料ピンの軸方向燃焼度による影響	1 6 3
図4.6 7	溶解速度と密度	1 6 4
図4.6 8	溶解率における溶解速度	1 6 5
図4.6 9	溶解特性曲線 (攪拌による影響)	1 6 6
図4.7 0	溶解特性曲線 (攪拌による影響)	1 6 7
図4.7 1	溶解特性曲線 (せん断片長さ)	1 6 8
図4.7 2	溶解特性曲線 (せん断片長さ)	1 6 9
図4.7 3	溶解特性曲線 (せん断片と粉末)	1 7 0
図4.7 4	溶解特性曲線 (開口率による影響)	1 7 1
図4.7 5	溶解速度と開口率	1 7 2
図4.7 6	溶解特性曲線 (液量)	1 7 3
図5.1	不溶性残渣回収フロー	1 7 4
図5.2	燃焼度と不溶性残渣	1 7 6
図5.4	粒度分布計測定原理	1 7 9
図5.5	サンプル採取ポイント	1 8 1
図5.6	「常陽」MK-II 照射済燃料・溶解液粒度分布率	1 8 2
図5.7	フェニックス照射済燃料・溶解液粒度分布率	1 8 3
図5.8	溶解液沈降前と上澄み液ろ過後の粒度分布	1 8 4
図5.9	ビーカースケール清澄試験フロー	1 8 5
図5.1 0	1.0 μ mろ過後上澄み液粒度分布	1 8 6
図5.1 1	1.0 μ mろ過後攪拌液粒度分布	1 8 7
図5.1 2	1.0, 0.5 μ mろ過後上澄み液粒度分布	1 8 8
図5.1 3	1.0, 0.5 μ m攪拌液粒度分布	1 8 9
図6.1	K r 放出率と溶解率	1 9 2
図6.2	燃焼度と溶解時のK r 放出率	1 9 3
photo	2-1 燃料組織図	4 5

1. まえがき

高速増殖炉燃料の再処理については、軽水炉燃料再処理と同様にピューレックス法を適用できると考えられるが、高速増殖炉燃料は軽水炉燃料に比べ高プルトニウム富化度でかつ、高燃焼度であることから溶解特性、抽出特性等について確認する必要がある。

高レベル放射性物質研究施設（以下「CPF」という）では、1982年9月に「常陽」MK-I照射済燃料を供試燃料とした、第1回（以下「ラン」という）ホット試験を開始し、現在まで14回の試験を実施している。

表1-1に実績及び予定のスケジュール表を示す。

これらの試験では、小規模ながら再処理工程（せん断、溶解、清澄、調整、抽出、精製、転換）一連の試験を実施し、照射済燃料の溶解特性、抽出特性等に関する基礎データを取得している。本報告書は、このうち溶解特性に関するデータについて燃料製造データ、照射後試験データ、その他文献等を参考にして解析したものである。

2. 供試燃料^{1)・2)・3)・4)・5)・6)・7)}

2-1 製造方法

各ランに用いた供試燃料の製造仕様を表2-1に示す。MK-I燃料ピンは、プルトニウム富化度18w/o、ペレット密度93%TDで製造され、MOX燃料コア部と軸方向ブランケット燃料部から構成されている。MK-II燃料ピンは、プルトニウム富化度29w/o、ペレット密度93%TDで製造され、MOX燃料部と上下各1個の断熱ペレット及びステンレス製反射体から構成されている。海外照射用燃料は、英国ドンレイ炉DFRでの332/5.6、ならびに仏国フェニックス炉でのフェニックスP-3である。DFR燃料は、プルトニウム富化度20w/o、ペレット密度は85/94%TDでMOX燃料部と上下各1個の断熱ペレットから構成されている。フェニックス燃料は、プルトニウム富化度30w/o、ペレット密度85/93%TDでMOX燃料コア部と軸方向ブランケット燃料部から構成されている。それらの供試燃料ピンの構造図を、図2.1～2.5に示す。

2-2 炉心装荷位置

図2.6にMK-I、MK-IIにおける供試燃料集合体の炉心装荷位置を示す。

※ MK-I：「常陽」炉心燃料で径方向、軸方向にブランケット燃料を有して増殖を目的とした炉心である。

MK-II：「常陽」照射用炉心燃料であり、各種照射試験用に使用する炉心である。

2-3 照射条件 ⁸⁾・⁹⁾・¹⁰⁾・¹¹⁾・¹²⁾・¹³⁾・¹⁴⁾

表2-2に全ての供試燃料の照射条件を示す。

2-4 供試燃料ペレット断面組織と照射履歴

「常陽」MK-I、MK-II、海外照射済燃料DFR332/5.6、フェニックスP-3の代表的なペレット断面組織図をphoto2-1に示す。

- ・「常陽」MK-I照射済燃料PPJX13は、MK-I増殖炉心において初臨界からMK-I最終サイクルの75MWまで6サイクルの間炉心の中央部で照射され、燃料の中で最高の燃焼度40, 100Mwd/t(集合体平均)の照射履歴を有する燃料である。燃料中心温度は、最高約1700℃と推定される。
- ・「常陽」MK-II照射済燃料PFD001は、MK-II炉心初装荷燃料として100MWの第3サイクルまで炉心中央部に装荷され、集合体平均燃焼度約31, 700Mwd/tの照射履歴を有する燃料である。燃料中心温度は、最高2190℃と推定される。
- ・「常陽」MK-II照射済燃料PFD003は、MK-II炉出力100MWの出力上昇から定格第1サイクルの間、IBIにおいて照射され、集合体平均燃焼度約13, 800Mwd/tの照射履歴を有する燃料である。燃料中心温度は、最高2152℃と推定される。
- ・DFR332/5は、「常陽」用高密度燃料の健全性確認のため照射試験に用いた燃料である。燃料ピン3本は、照射リグに組み込まれて計5サイクルの照射を受け、燃焼度は約55, 000Mwd/tの照射履歴を有する燃料である。
- ・DFR332/6は、「もんじゅ」用低密度燃料の健全性確認の為の照射試験に用いた燃料である。燃料ピン3本は、照射リグに組み込まれて計5サイクルの照射を受け、燃焼度63, 000Mwd/tの照射履歴を有する燃料である。
- ・フェニックスP-3は、もんじゅ燃料の確性試験用燃料としてバンドル状で装荷され、燃料要素最大108, 000Mwd/tまで照射された燃料である。

3. 照射済燃料の溶解

これまでCPFで実施してきた溶解試験は、燃料ピン2～4本分のせん断片を溶解槽へ装荷し、バッチ式に行うベンチスケール溶解試験と、せん断片1片を用いて行う初期硝酸濃度、溶解温度、初期HM濃度等のパラメータサーベイを目的としたピーカースケール溶解試験に分けられる。以下、ベンチスケール溶解試験、ピーカースケール溶解試験、不溶解残渣の性状調査等の順にCPFで得られた成果について報告する。

3-1 ベンチスケール溶解試験

3-1-1 試験方法

供試燃料ピンは、ラッピングワイヤを除去した状態でせん断機に供給される。図3.1にせん断機の構造図を示す。せん断は1ピンずつ行われ、せん断片は、バスケットに受ける。せん断片の端面形状は、ほぼ真円に近い状態である。また、せん断時に発生する粉末は別途受けポットで回収し、せん断片と共に溶解槽に装荷する。

ベンチスケール溶解槽では、1バッチ当たり最大4ピン分 ($Pu + {}^{235}U$ 220 g) の燃料を溶解することができ、加熱は電気ヒータによる槽下部間接加熱方式で行っている。

試験においては、せん断片をバスケットに入れ溶解槽に装荷し、硝酸注入後加熱昇温し燃料を溶解させる。溶解槽及びバスケットの概略図をそれぞれ図3.2、図3.3に示す。溶解槽下部容積は、約4ℓであり、溶解反応は、この部分で進行する。溶解反応中は、毎時0.5 Nm³の攪拌空気を溶解槽最下部へ供給する。

溶解槽上部容積は約18ℓであり急激な溶解反応で生ずるオフガスによる槽内圧力の急上昇を避ける為の緩衝部になっている。なお、当該部分には、溶解反応により発生する水素ガスの爆発防止策として毎時0.5 Nm³の希釈空気を供給している。

図3.4に溶解槽オフガス処理系統とオフガスの分析系統を示す。

溶解槽オフガスは、オフガス凝縮器に導かれ凝縮性成分は凝縮され溶解槽に戻される。オフガス凝縮器を通過したオフガスは、酸回収塔、オフガスノックアウトポットを経てオフガス洗浄塔へ導かれ、水洗浄される。水洗浄後オフガスは、約90℃に加熱した銀ゼオライト（オフガス吸着塔）を通過し、せん断オフガスと共にプロセス系末端フィルター（HEPA/A g Z）へ導かれる。溶解槽オフガスは銀ゼオライトカラムを通過後に分岐し、Krモニター等の測定系へ導かれる。なお、溶解反応中は所定時間ごとに溶解液のサンプリングを行い、Pu、U、HNO₃、FP濃度、並びに密度測定を行い、溶解状況を把握する。溶解反応終了の判断は、放射線測定装置（Krモニター）により検知される⁸⁵Krガスの放出量がバックグラウンドに戻る時点及び、溶解液密度が一定になる時点を目安としている。

3-1-2 試験条件

溶解試験条件を表3.1(1)~(3)に示す。全ランの初期硝酸濃度は、約3.3~4.4 M、溶解温度は90~107℃で溶解試験を行っている。

3-1-3 溶解試験結果

各ランの溶解特性曲線と溶解条件を図3.5~図3.21に示す。
また、下表に溶解開始から10時間後におけるPuの溶解率を示す。

表. 各ランの溶解開始10時間後におけるPuの溶解率

項目 ホット試験	装荷量 (g)		初期硝酸濃度 (M)	溶解温度 (℃)	Pu 溶解率 (%)
	Pu	U			
第1ラン	44.7	535.2	3.6	98	100
第2ラン	44.8	530.4	3.5	96	100
第3ラン	87.9	1054.5	3.6	101	100
第4ラン	21.9	263.1	3.36	90	100
第5ラン	84.3	395.3	3.3	90	100
第6ラン	70.9	190.4	3.5	97	95
第7ラン	70.9	190.4	3.48	90	94
第8ラン	64.3	173.8	3.4	97	90
第9ラン	30.48	129.9	3.3	98	100
第10ラン	57.0	154.0	3.5	97	72

項目 ホット試験	装荷量 (g)		初期硝酸濃度 (M)	溶解温度 (℃)	Pu 溶解率 (%)
	Pu	U			
第11ラン	90.8	242	3.0	96	41
第12ラン	69.2	390.8	4.72	104	100
第13ラン	94.2	242.6	4.4	104	100
第14ラン	68.0	169.70	3.5	97	73

なお、溶解率は次式で算出した。

$$\text{溶解率} = \frac{(\text{プロダクト濃度}) \times (\text{溶解液量}) + \Sigma (\text{サンプル量} \times \text{プロダクト濃度})}{\text{初期プロダクト量}} \times 100 (\%)$$

プロダクト濃度 : 分析値

溶解液量 : 監視計器指示値を密度測定値で補正した量

サンプル量 : 分析の為のサンプル量

初期プロダクト量 : ORIGEN79で計算した値

3-1-4 試験成果

14ランまでの溶解試験を行った結果を製造方法、照射条件、溶解条件等を含め以下の項目について検討、解析を行った。

- 1) プルトニウム富化度
- 2) 初期硝酸濃度
- 3) 溶解温度
- 4) 燃焼度
- 5) 重金属濃度

をパラメータとした試験を実施しており、以下各項目に従い述べる。

1) プルトニウム富化度

供試燃料のプルトニウム富化度は、下記に示す通りである。これらの燃料の製造方法は、いずれも機械混合法にて製造されている。

- i) 「常陽」MK-I照射済燃料の溶解性
- ii) DFR照射済燃料、中燃焼度燃料の溶解性

ハ) MK-II 照射済燃料の溶解性

イ) 「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解性

「常陽」MK-I (第1ラン～5ラン) 照射済燃料のプルトニウム富化度は、18 w/o $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ の低プルトニウム富化度にて製造され、燃焼度は、4, 400 MWd/t から 40, 100 MWd/t まで照射された燃料である。これらの溶解特性曲線を図3.22に示す。図からも解かるように、溶解温度100℃前後、初期硝酸濃度、3.5 Mの溶解条件において約5～6時間でウラン、プルトニウムは共に溶解した。

ロ) DFR照射済燃料、中燃焼度燃料の溶解性

低プルトニウム富化度 (18/20 w/o) にて「常陽」燃料の使用限界を求める照射目的で「常陽」MK-I と同一仕様にて製造され、英国ドンレイ炉にて照射された中程度の燃焼度 (52, 600 MWd/t、線出力410 W/cm) 燃料の溶解を実施した。

この溶解試験は、前述した「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解と同一条件にて溶解を行っている。

図3.22から解かるように溶解時間は、約6時間で終了している。

以上から18 w/o 前後の低プルトニウム富化度を有する照射済燃料は、燃焼度による溶解への影響はなく溶解条件、温度100℃前後、初期硝酸濃度3.5 Mにおいて、ウラン、プルトニウムは、約5～6時間にて溶解は終了する。

ハ) MK-II 照射済燃料の溶解性

次に、プルトニウム富化度が高い「常陽」MK-II 燃料の溶解性を比較した。溶解特性曲線を図3.23に示す。

供試燃料は、「常陽」MK-I 照射済燃料 (5ラン) プルトニウム富化度18 w/o、と「常陽」MK-II 照射済燃料 (6, 7ラン) プルトニウム富化度29 w/oの燃料で、燃焼度は、3～4万MWd/tのものである。図からプルトニウム富化度が増加することにより10時間溶解において溶解率95%と溶解性は悪くなっている。溶解速度もプルトニウム富化度が増加すると共に、初期、中期、終期、といずれも低下している。

以上から、Pu富化度29 w/oの燃料は、同一燃焼度でもPu富化度18 w/oのものより溶解性は低い。

プルトニウム富化度による影響の試験結果、図3.23(a)からプルトニウム富化度18 w/oの燃料は中期溶解速度は一定の速度にて溶解が進行する。しかしプルトニウム富化度29%の燃料は燃焼度による影響が大きく燃焼度が増加すると溶解速度は低下する。

プルトニウム富化度が増加することにより溶解速度は低下する。また溶解速度は燃料のプルトニウム富化度と燃焼度により推定できる。

表. 供試燃料プルトニウム富化度

ホット試験	プルトニウム富化度
「常陽」MK-I 第1ラン～5ラン	18w/o
「常陽」MK-II 第6ラン～8ラン	29w/o
DFR 第9ラン	18/20 w/o
「常陽」MK-II 第10ラン	29w/o
Phoenix 第11ラン～12ラン	30w/o
「常陽」C型特燃 第13ラン	30w/o
「常陽」MK-II 第14ラン	29w/o

2) 初期硝酸濃度

初期硝酸濃度をパラメータとした溶解性を確認した。

- i) 「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解性
- ii) フェニックス照射済燃料の溶解性

i) 「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解性

「常陽」MK-I 照射済燃料を供試燃料（4ラン）の同一燃料による溶解特性曲線を図3.24に示す。

図から、

- ・ 90℃、2.3M硝酸によるウラン、プルトニウムの溶解は、約10時間で溶解した。
- ・ 90℃、3.3M硝酸による溶解は、コアとブランケット部の溶解性に差異はなく、いずれも5～6時間で溶解した。

以上から、
溶解温度90℃における溶解は、硝酸濃度の高いほうが溶解性は良好である。

図3.25に初期硝酸濃度と溶解の中期における溶解速度の関係を示す。
図から、酸濃度の高い方が溶解速度は速い。

溶解速度、酸濃度の間には次式が成り立つ

$$K \propto [H^+]^n$$

文献によれば指数nは温度に依存し、高温ほど小さくなる傾向とされている。この時のnは0.6であった。

ロ) フェニックス照射済燃料の溶解性

フェニックス照射済燃料の初期硝酸濃度による溶解試験について述べる。

供試燃料の照射条件、溶解条件を下記に示す。

	Pu富化度 (w/o)	燃 焼 度 (MWd/t)	初期硝酸 (M)	溶解温度 (℃)
フェニックス 燃料(11ラン)	30	94,000	3.0	96
フェニックス 燃料(12ラン)	30	94,000	4.27	107

注) 11ラン供試燃料は、大洗で照射後試験に供された後の切断ピンとしてCPFに搬入されたものである。

12ラン供試燃料は、健全ピンで搬入されたものである。

図3.28に溶解特性曲線を示す。

12ラン試験は、溶解開始後3時間の濃縮運転を行っており、硝酸濃度は高く保たれている。燃焼度が増加した燃料においても初期硝酸濃度が高い条件の場合は、溶解時間約5時間で溶解している。初期硝酸濃度の低い場合は、9時間溶解において41%の溶解率である。これからも初期硝酸濃度が高い程、溶解性は良いことが確認された。

3) 溶解温度

- イ) 「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解性
- ロ) 「常陽」MK-II 照射済燃料の溶解性

イ) 「常陽」MK-I 照射済燃料の溶解性

供試燃料「常陽」MK-I 照射済燃料を用い溶解温度をパラメータとして溶解試験をおこなった。

下記に溶解条件を示す。

	Pu 富化度 (w/o)	燃 焼 度 (Mwd/t)	初期硝酸 (M)	溶解温度 (℃)
常陽MK-I (4-1ラン)	18	40, 100	3.5	90
常陽MK-I (4-2ラン)	18	40, 100	3.5	80
常陽MK-I (4-3ラン)	18	40, 100	3.5	70

図3.29に溶解特性曲線を示す。図から溶解温度90℃においての溶解時間は、約6時間、溶解温度80℃で10時間での溶解率は、98%、溶解温度70℃で10時間での溶解率は、96%であった。溶解温度が高くなる程、溶解性は良くなることを確認した。

溶解速度の観点から見ると図3.30に示す通り温度と溶解の中期溶解速度は温度が高い程、溶解速度は速くなっている。

また、これらをアレニウスの式による活性化エネルギーを求めた。

$$k = KQ \exp(-E/RT)$$

k : 反応速度定数

KQ : 頻度因子

E : 活性化エネルギー

T : 温度

この時の活性化エネルギーは15 Kcal/molである。

ii) 「常陽」MK-II 照射済燃料の溶解性

次に「常陽」MK-II 照射済燃料を供試燃料とした溶解試験について述べる。

表. 供試燃料と溶解条件

	Pu 富化度 (w/o)	燃 焼 度 (MWd/t)	初期硝酸 (M)	溶解温度 (℃)
常陽MK-II 6ラン	2.9	13.800	3.5	97
常陽MK-II 7ラン	2.9	13.800	3.48	90

図3.31に溶解特性曲線を示す。図から溶解温度が97℃の場合は、10時間溶解において95%の溶解率であり、溶解温度が90℃の場合は、10時間溶解で94%であった。溶解温度が高い程溶解性は良いことを確認した。溶解速度からも溶解温度が高い程、溶解速度は速くなっている。この時の活性化エネルギーを求めると22Kcal/molであった。「常陽」MK-I 照射済燃料と比較すると、プルトニウム富化度が増加しても、溶解温度が高くなれば燃料の溶解性はよくなることを確認した。

4) 燃焼度

第14ランまでの溶解試験に用いている照射済燃料は、ほぼ試験ごとに燃焼度が増加している燃料を用いている。以下に代表的な供試燃料の燃焼度、溶解条件を示す。

表. 供試燃料と溶解条件

	6ラン	8ラン	14ラン
燃焼度 (MWd/t)	13.000	31.700	54.000
線出力 (W/cm)	360	360	約200
溶解温度 (℃)	97	97	97
硝酸濃度 (M)	3.5	3.4	3.5
Pu富化度 (w/o)	2.9	2.9	2.9

図3.33に示す通り、燃焼度が増加するとともに溶解時間は長くなり、燃焼度13, 800Mwd/tで10時間における溶解率は、95%、燃焼度31, 700Mwd/tで10時間における溶解率は、90%、燃焼度54, 700Mwd/tで10時間における溶解率は、73%、とそれぞれ燃焼度が増加することにより溶解性は悪くなることが確認された。

溶解速度の観点からも図3.34に示す通り、溶解中期の溶解速度は燃焼度の増加に伴い低下している。

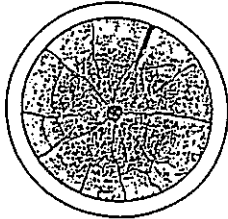
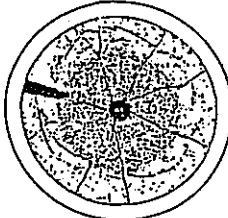

このような傾向は「常陽」MK-Iでは見られないことから、高プルトニウム富化度燃料の溶解特性は燃料の照射条件、特に燃焼度による影響は大きいと思われる。

照射条件（燃焼度）により燃料の挙動がどう変化するのか、またそれらが溶解へどう影響するのか、燃料組織、プルトニウム再分布、不溶性金属状析出物等について照射後試験の結果をもとに記述した。

燃料組織 ^{12)・13)}

Photoからも解かるように、燃焼度（照射）が進むにつれて燃料ペレットの組織は激しく変化する。これらの供試燃料を照射後試験（大洗）の報告書をもとにペレットの内部組織を比較した。

以下に供試燃料の断面組織比較表を示す。

	組織図	燃焼度 (Mwd/t)
6ラン PFD003	'JOYO' MK-I Specimen NO. 70A644 	13,800
8ラン PFD001	'JOYO' MK-I Specimen NO. 815244 	31,700
14ラン PFD209		54,700

6 ランの燃料組織中心部に、わずかながら中心空孔が生じ、柱状晶領域、FPガスバブル領域、高密度領域、製造領域が見られる。中心空孔径は、0.43mmφまで成長している。

8 ランの燃料組織にも中心空孔が生じ、径は0.56mmφで柱状晶、FPガスバブル、高密度、製造領域がみられる。8 ランの柱状晶の結晶粒長は、6 ランの柱状晶の結晶粒長の長短軸比で約2倍の長さになっている。

14 ランの燃料組織変化（照射後試験中のため写真無し）は、燃焼度54,700 MWd/tの照射履歴を有する燃料であるが、線出力、燃料中心温度等は低く、低出力にて照射された燃料で組織変化はあまり変化していない。柱状晶領域の成長はなく中心空孔も見られない。しかし、照射期間が8サイクルと長く積算中性子照射量は $991 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ と溶解対象燃料中最も照射された燃料である。

以上のように「常陽」MK-II炉心にて照射された燃料は、燃焼度の増加によってペレット内の組織は各々変化している。後に記するが、ピーカースケールにおける溶解試験において、粉末とせん断片の溶解試験から溶解性は粉末の状態が良好であった。つまり、硝酸との接触面積の大きいものが溶解性は非常に良い結果がでている。

即ち、燃焼度の増加による粒径の成長は、溶解中期における溶解表面積の増加の程度を小さくすることにつながり、結果として溶解性を低下させることが考えられる。

プルトニウム再分布^{12)・13)}

燃料の燃焼度が増加するとともに、燃料組織変化にともないプルトニウムが低温側から高温側へ、つまり燃料中心部への移動が確認されている。プルトニウム再分布による領域は、柱状晶領域であり中心空孔に近づくに従い、プルトニウムの増加がみられる。

以下の表に供試燃料のプルトニウム再分布値を示す。

また、図3.35に大洗照射後試験におけるプルトニウム再分布の測定結果を示す。

	プルトニウム富化度	プルトニウム再分布値
6 ラン PFD003	29 w/o	29 w/o
8 ラン PFD001	29 w/o	34 w/o
14 ラン PFD209	29 w/o	—

以上のように溶解性が悪いと言われているプルトニウムが中心空孔の近傍から柱状晶領域にかけて増加があり、燃料全体としての溶解性の低下をもたらしている。

「常陽」MK-II照射済燃料、プルトニウム富化度29w/oによる燃焼度13,800、31,700、54,700Mwd/tをパラメータとした試験を実施した結果、燃焼度が増加するにつれて溶解性は悪くなっている。この原因の一つとしては、燃焼度増加に伴う燃料の温度変化によるプルトニウム再分布が考えられ、プルトニウムが燃料ペレット内において低温側から高温側へ、つまり燃料中心部へ移動し中心空孔端から柱状晶領域にかけてプルトニウム富化度の増加が見られる。燃焼度31,800Mwd/tにおいて34w/o、54,700Mwd/tにおいて微量の増加と燃焼度が増加するとともに燃料中心部でのプルトニウム富化度が増加している。さらに、高燃焼度(94,000Mwd/t)のフェニックス照射済燃料においては、約40w/oまで増加している結果が照射後試験より得られている。この照射済燃料は、「常陽」照射済燃料よりさらに溶解性は悪く、10時間溶解において約40%の溶解率であった。このことは、燃焼度増加に伴いプルトニウムの再分布が起り、結果として局所的なプルトニウムの濃縮が生じ溶解性の低下がもたらされることが考えられる。また、「常陽」MK-II及びフェニックス燃料の溶解曲線を詳細に見ると、溶解中期においてプルトニウムの溶解がウランより遅れる傾向が見られるが、これはプルトニウムが濃縮されている部分の溶解が遅れることに起因する事象と考えられる。

ウランがプルトニウムの溶解反応において、触媒的な役割を果たすという説があるが、「常陽」MK-IIの結果はこれを一部裏づけたものと考えられる。また、プルトニウム再分布は「常陽」MK-I燃料では見られず、溶解性への影響はないことから、プルトニウム富化度に限界値が存在するものと考えられる。

不溶解性金属状析出物

不溶解性金属状析出物、Mo, Ru, Rh, Tc, Pdの5元素の燃料中における挙動について照射後試験結果(大洗)、その他文献より引用して溶解特性と比較しながら述べる。

金属状析出物は、表に示すような収率で燃料中に発生するとされている。

表2 核分裂生成物の収率と燃料中の形態¹⁵⁾

元 素* ¹	元素収集* ³		燃 料 中 の 形 態
	²³⁵ U	²³⁹ Pu	
Zr + Nb	0.298	0.204	酸化物として固溶, Zrの一部はアルカリ土類と複合酸化物を作る。
Y + 希土類* ²	0.534	0.471	酸化物として固溶
Ba+Sr (アルカリ土類)	0.149	0.096	アルカリ土類酸化物相として析出
Mo	0.240	0.203	酸化物として固溶, または金属状析出物中に存在
Ru+Tc+Rh+Pd (白金類)	0.263	0.516	金属状析出物を形成
Cs + Rb	0.226	0.189	単体蒸気, または温度の低い領域で酸化物として析出
I + Te	0.012	0.070	単体蒸気, IはCsと結合し易い
Xe + Kr	0.251	0.248	単体ガス

*1 化学的性質が類似した元素のグループ

*2 La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd

*3 高速中性子による核分裂による

表より、²³⁹Puの核分裂では金属析出量は収率で、²³⁵Uの核分裂に伴うものの2倍程であることが判る。また、それらは燃料中に主として金属単体として存在している。

燃料ペレットの中間部（ガスバブル領域）では、温度勾配により中心方向へ移行し、種々の大きさの析出物となる。また、燃料中心部は温度が高いので析出物はより大きな球状の粒子に成長する。

これらの析出物は、燃料結晶内には潜在せず組織変化を起こした領域の中の粒界に現れる。つまり照射により成長した結晶の粒界に存在し個々の粒結晶を取り囲むように存在していると推察される。即ち、燃料ペレット内部の金属析出物は、燃焼度の増加に伴い成長した粒径を取り巻くような状態にあり、溶解性低下の一因となっていることも考えられる。

また、プルトニウムの再分布に伴い中心空孔端で燃焼度が増加していることが確認されていることから、この部分での不溶解性の金属状析出物の増加が考えられる。

図3.36に「常陽」MK-II照射後試験、金属析出物の量を示す。

一方、DFR照射済燃料では、ペレット内部においてプルトニウム再分布、結晶粒の成長、不溶解白金類析出物の析出等、高プルトニウム富化度燃料と同様な挙動を示してしるにもかかわらず、「常陽」MK-I照射済燃料（プルトニウム富化度18w/o）と同様の溶解性を示している。このことから

前述のようなストーリーは可能性として考えられるものの、析出する白金属の量が結晶粒を覆うほどではなく、結果として白金属析出物が溶解性に与える影響は小さいものと考えられる。

結局、高プルトニウム富化度燃料では、燃焼度の上昇により

1. 燃料中心温度上昇に伴う結晶粒の成長（溶解進行時点での溶解性低下）
2. プルトニウム再分布によるプルトニウムの局部濃縮
3. 温度勾配に伴う不溶解白金属析出物の成長と移行（影響は小さい）

という事象が起こり、特に1と2の作用に起因して溶解性が低下する。

以上が低硝酸濃度でのCPF溶解試験結果である。文献等によると燃焼度の増加に伴い溶解性は良くなる傾向にあると言われているが、これはいずれも低いプルトニウム濃度で、かつ固溶度の低い燃料のデータであり、このような燃料ではむしろ燃焼度の上昇による固溶度の向上、結果としての局所的プルトニウム/ウラン比の低下が溶解性の向上をもたらすものと予想される。なお、これらは高硝酸濃度による溶解であり、CPFにおける試験も高硝酸濃度による溶解試験が必要と考えられる。

5) 初期重金属（U及びPu）濃度

イ) 「常陽」MK-II照射済燃料の初期重金属濃度の違いによる溶解性

「常陽」MK-II照射済燃料を供試燃料とした、8ランと10ランの重金属濃度による溶解性の比較を行った。

	Pu富化度 (w/o)	燃焼度 (MWd/t)	初期硝酸濃度 (M)	溶解温度 (℃)	初期重金属濃度 (g/l)
8ラン	29	31,700	3.4	97	—
10ラン	29	31,700	3.5	97	69.2

図3.37に溶解特性曲線を示す。図から次の事が言える。

溶解初期より一定量のウラン、プルトニウムが存在する10ランの溶解は、溶解初期において8ランより溶解速度が速いが、その後はむしろ溶解速度が遅くなる傾向が見られ、結果として10ランの溶解時間の方が長くなり燃料の溶解性は悪くなる傾向にある。

また、文献でも照射済燃料の溶解性に対する重金属の影響は、ばらつきが多く明らかでない。これは、次のように考察できる。まず、ウランがプルトニウム溶解の触媒的な役割をはたすとすると、重金属濃度が高い場合は溶解初期においてプルトニウムの溶解反応を促進する（溶解性が良くなる）ことが考えられる。一方硝酸に対するウラン、プルトニウムの溶解度を考慮すると、ある時点からは逆に溶解反応を制御することも考えられる。このように2つの相反する作用の重なり合いに

より、今回のような結果になる他、文献でもばらつきが多い結果になるものとする。なお、CPFでは重金属濃度を変えたベンチスケールでの溶解試験例が少ないので今後さらにデータを収集することとしたい。

3-2 ビーカースケール溶解試験

ビーカースケール溶解試験は、種々の溶解条件のパラメータサーベイを効率的に行うことを目的として、これまで、10, 12, 13, 14ランにおいて計4回の試験を実施している。

3-2-1 試験方法

図4にビーカースケール溶解試験装置の概略図を示す。

ビーカースケール溶解試験は、せん断片1片を用いてそれぞれ種々の溶解条件をパラメータとして実施した。また、発生するオフガスは、オフガスラインをベンチスケールの溶解槽に接続することにより監視した。溶解反応終了は、ベンチスケール溶解試験同様⁸⁵Krガスの放出量を測定することにより判定した。

3-2-2 試験条件

溶解試験条件を表4.1～4.5に示す。

3-2-3 試験結果

全てのビーカースケール溶解特性曲線を図4.1～図4.45に示す。

3-2-4 試験成果

全ての溶解試験を行った結果を製造方法、照射条件、溶解条件等を含め以下の項目について検討、解析を行った。

- 1) 初期硝酸濃度
- 2) 溶解温度
- 3) 初期重金属濃度
- 4) 燃焼度
- 5) 攪拌方法（方法と空気流量）
- 6) せん断片長さ
- 7) 燃料の形状（粉末とせん断片）
- 8) 燃料せん断片開口率
- 9) 硝酸液量

をパラメータとした試験を実施しており、以下項目に従い述べる。

1) 初期硝酸濃度

「常陽」MK-II 照射済燃料 (10ラン)

プルトニウム富化度 2.9 w/o, ピン平均燃焼度 31, 700 MWd/t の「常陽」MK-II 照射済燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。溶解特性曲線を図 4.46 に示す。図から初期硝酸濃度 3.5 M で約 5.5 時間, 5.0 M で 3.5 時間, 8.0 M で 3 時間の溶解時間が示されている。

これから初期硝酸濃度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短いことを確認した。次に、溶解中期における溶解速度と初期硝酸濃度の関係を図 4.47 に示す。

文献によれば、 UO_2 ペレットを供試燃料とした試験の結果

$$K \propto [H^+]^n$$

K : 溶解速度
 $[H^+]$: 硝酸濃度
 n : 0.9 ~ 1.9

が得られている。図 4.47 から n を求めると、

$$n = 1.3 \text{ であった。}$$

フェニックス照射済燃料 (12ラン)

プルトニウム富化度 3.0 w/o, 燃焼度 108, 000 MWd/t のフェニックス照射済燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。溶解特性曲線を図 4.48 に示す。

図から高プルトニウム富化度, 高燃焼度燃料では、初期硝酸濃度 3.0 M では溶解が終了するのに 16 時間かかるが、初期硝酸濃度 5 ~ 7 M, 溶解温度 105℃ にすることにより 4 時間程度で溶解が終了する。このことから、高プルトニウム富化度, 高燃焼度燃料においても、初期硝酸濃度を高めれば溶解は短時間で終了することを確認した。また、溶解中期における溶解速度も初期硝酸濃度が高い程高くなる傾向にある。図 4.49 に初期硝酸濃度と溶解速度の関係を示す。図中には、参考までに「常陽」MK-II 照射済燃料のデータを載せている。

「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料（13ラン）

プルトニウム富化度30w/o, 燃焼度63, 200MWd/tの「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。溶解特性曲線を図4.50に示す。

図から初期硝酸濃度3.0Mでは溶解が終了するのに6~7時間かかるが、5~7Mでは4時間程度で溶解が終了する。また、溶解中期における溶解速度も、図4.51から初期硝酸濃度が高い程高くなる傾向にあることを確認した。

初期硝酸濃度をパラメータとした各々のビーカースケール溶解試験から、類似の製造条件、溶解条件のものを図4.52に示す。

初期硝酸濃度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短く、燃焼度63, 200~108, 000MWd/t, 溶解温度98~110℃, 初期硝酸濃度5~7Mにおいては、溶解時間は3~4時間となっている。また、燃焼度31, 700~63, 200MWd/t, 溶解温度100℃, 初期硝酸濃度3~3.5Mの場合は、溶解時間5~6時間である。

図4.52に示す溶解特性曲線の中から溶解条件の同一のものを抽出し、溶解速度と初期硝酸濃度の関係を図4.53に示す。ここには、「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料（13ラン）とフェニックス照射済燃料（12ラン）について溶解温度100℃と同一であり、初期硝酸濃度をパラメータとした溶解速度である。これからも初期硝酸濃度が高い方が溶解速度も速いことを示している。特に初期硝酸濃度7.0Mにおいては、燃焼度108, 000MWd/tにもかかわらず初期硝酸濃度3.0M, 燃焼度63, 200MWd/tの溶解速度の約2.3倍であった。

結局、以上をまとめると次のようになる。

- ① 初期硝酸濃度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短い。特に高プルトニウム富化度、高燃焼度の燃料でも溶解温度105℃, 初期硝酸濃度5~7Mで4時間程度で溶解が終了する。
- ② 「常陽」MK-II照射済燃料, フェニックス照射済燃料及び「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料では溶解中期における溶解速度は、初期硝酸濃度の1.3乗に比例する。

2) 溶解温度

「常陽」MK-II照射済燃料（10ラン）

プルトニウム富化度29w/o, ピン平均燃焼度31, 700MWd/tの「常陽」MK-II照射済燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。溶解特性曲線を図4.54に示す。

図から溶解温度100℃における溶解時間は、約6時間, 105℃における溶解時間は、約3時間にて溶解が終了している。溶解温度が高い程、

溶解が終了するまでの時間は短くなることを確認した。次に溶解中期における溶解速度と溶解温度との関係を図4.55に示す。この図から溶解温度が高い程、溶解速度は高くなる傾向を示している。アレニウスの式を適用し、活性化エネルギーを求めると、14 Kcal/molであった。

フェニックス照射済燃料（12ラン）

プルトニウム富化度30 w/o, ピン平均燃焼度94, 000 MWd/tのフェニックス照射済燃料を供試燃料とした、ビーカースケール溶解試験について述べる。溶解特性曲線を図4.56に示す。

この図からも溶解温度が高くなる程、溶解が終了するまでの時間は短く、溶解温度104℃～108℃において、約4時間で溶解が終了している。溶解温度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短くなることを確認した。

溶解中期における溶解速度と溶解温度との関係を図4.57に示す。参考として、図中に「常陽」MK-II照射済燃料の取得データを記入した。

尚、アレニウスの式を適用し、活性化エネルギーを求めると14 Kcal/molであった。

3) 初期重金属濃度

「常陽」MK-II照射済燃料（10ラン）

プルトニウム富化度29 w/o, ピン平均燃焼度31, 700 MWd/tの「常陽」MK-II照射済燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度3.5 M, 溶解温度100℃で初期重金属濃度が0 g/l, ~55 g/l, ~86 g/lの溶解率と時間の関係を図4.60に示す。

図から、初期重金属濃度を変化させ溶解を行なった結果、初期重金属濃度が高い方が多少早く溶解しているが、ほとんど5～6時間で溶解が終了している。

次に、溶解中期における溶解速度と重金属濃度との関係を図4.61に示す。図から初期重金属濃度が高くなる程、溶解速度は高くなる傾向にあることが示される。

フェニックス照射済燃料（12ラン）

プルトニウム富化度30 w/o, 燃焼度108, 000 MWd/tのフェニックス照射済燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度が5.0 M, 溶解温度108℃で初期重金属濃度が0 g/l, 120 g/l, 268 g/lの溶解率と時間の関係を図4.62に示す。図

から初期重金属濃度の違いによる溶解時間は4時間で終了する。初期重金属濃度による溶解時間は、差がないことが示されている。次に、溶解中期における溶解速度と初期重金属濃度との関係を図4.6 3に示す。初期重金属濃度が高くなる程、溶解速度は低くなる傾向にある。

「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料(13ラン)

プルトニウム富化度30w/o、燃焼度63、200Mwd/tの「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料を供試燃料としたピーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度3.0M、溶解温度100℃及び初期硝酸濃度5.0M、溶解温度100℃での初期重金属濃度をパラメーターとした溶解率と時間との関係をそれぞれ図4.6 4(1)、図4.6 4(2)に示す。

初期硝酸濃度3.0Mでは、初期重金属濃度が高い程溶解が終了するまでの時間は約5時間と短い。一方、初期硝酸濃度5.0Mでは、初期重金属濃度の違いにより溶解が終了するまでの時間は4時間と差はない。

初期硝酸濃度3.0M、5.0Mでの溶解中期における溶解速度と初期重金属濃度との関係を図4.6 5(1)、図4.6 5(2)に示す。

- ・初期硝酸濃度3.0～3.5Mでは、初期重金属濃度が高い程溶解が終了するまでの時間は短く、また、溶解中期における溶解速度は、わずかながら高くなる傾向にある。
- ・初期硝酸濃度5.0Mでは、溶解が終了するまでの時間の差に初期重金属濃度の影響はない。溶解中期における溶解速度は、初期重金属濃度が高い程、わずかながら低くなる傾向にある。

調査した文献では、初期重金属濃度の影響はばらつきが多く、定説がないとのことであり、CPF試験結果からは初期重金属濃度の影響は大きくないと言える。

4) 燃焼度

Phoenix照射済燃料(12ラン)、「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料(13ラン)による燃料ピン軸方向燃焼度による溶解試験を実施した。せん断片は燃料ピンの軸方向燃焼度から、目的に合った燃焼度部を供試燃料とした。溶解条件は初期硝酸濃度5.0M、溶解温度100～108℃として実施した。

Phoenix照射済燃料のせん断片燃焼度は、80、000、94、000、108、000Mwd/tである。溶解試験結果を図4.6 6(a)に示す。図から燃焼度が増加すると中期(50%溶解)溶解速度は高くなる傾向にある。

また、「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料における溶解試験も同様に実施した。溶解試験結果は、図4.6 6(b)に示すようにPhoenix照射済燃

料と同様に燃焼度が増加すると、溶解速度は高くなる傾向にある。

図4.66(c)にPhoenix、「常陽」MK-II C型照射済燃料の燃焼度における溶解速度を示す。

Phoenix照射済燃料は初期硝酸濃度5.0 M溶解温度108℃で溶解した結果、燃焼度が増加するに従って溶解速度が増加する傾向にある。

また「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料の溶解速度も同様に燃焼度が増加するに従い、溶解速度も増加する傾向にある。

このことは、Phoenix、「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料は低密度であり、「もんじゅ」仕様にて製造されたものである。

低密度照射済燃料の溶解は中心空孔、燃料組織変化等により硝酸との接触面積、ウランによる触媒効果から溶解速度が高くなる傾向があると思われる。

ペレット密度

燃料ペレット密度による影響の試験を実施した。燃料は「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料密度85%TDと「常陽」MK-II照射済燃料密度93%TDの燃料であり、燃焼度はほぼ同一の60,000 MWd/tを有するものである。

溶解条件は初期硝酸濃度5.0 M、溶解温度100℃で溶解を実施した。試験結果を図4.67に示す。

中期(50%)溶解速度により、評価した結果「もんじゅ」仕様の低密度燃料は高密度ペレットより溶解速度は高く溶解性は良好である。

5) 攪拌方法

フェニックス照射済燃料

プルトニウム富化度30 w/o、燃焼度108,000 MWd/tのフェニックス照射済燃料を供試燃料とした12ランのビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度5.0 M、溶解温度105℃で攪拌なし及び、マグネチックスターラーによる低速攪拌、高速攪拌の溶解率と経過時間との関係を図4.69に示す。

溶解が完了するまでの時間は、スターラーによる攪拌速度が高い程、短くなる傾向にある。

「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料(13ラン)

プルトニウム富化度30 w/o、燃焼度63,200 MWd/tの「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料を供試燃料としたビーカースケール溶解試験について述べる。初期重金属濃度がそれぞれ0 g/l、120~150 g/lにおける溶解特性曲線を図4.58(1)、(2)に示す。なお、初期硝酸濃度

はいずれも5.0 Mである。

図から初期重金属濃度 0 g/l , $120 \sim 150 \text{ g/l}$ のいずれの条件下においても溶解温度が高くなる程、溶解が終了するまでの時間は、短く初期重金属濃度 0 g/l , 溶解温度 100°C における溶解時間は、約4時間、初期重金属濃度 $120 \sim 150 \text{ g/l}$, 溶解温度 105°C で溶解時間は、約3.5時間と初期重金属濃度下においても、溶解温度が高ければ溶解時間は短くなることを確認した。

次に溶解中期における溶解速度と溶解温度との関係を図4.59に示す。また、アレニウスの式を適用し、活性化エネルギーを求めると

初期硝酸濃度5.0 M, 初期重金属濃度 0 g/l で 12 Kcal/mol であった。

初期硝酸濃度5.0 M, 初期重金属濃度 $120 \sim 150 \text{ g/l}$ で 18 Kcal/mol であった。

以上をまとめると以下のようなになる。

- ① 溶解温度が高い程、溶解が終了するまでの時間は、短くなる。
- ② 初期重金属濃度が増加しても、溶解温度が高ければ溶解が終了するまでの時間は短くなる。
- ③ 溶解温度が高い程、溶解中期における溶解速度は高くなる傾向にある。
- ④ アレニウスの式から活性化エネルギーを求めると

MK-II 照射済燃料 14 Kcal/mol

フェニックス照射済燃料 14 Kcal/mol

「常陽」MK-II 照射済C型特殊燃料

初期重金属濃度 0 g/l 14 Kcal/mol

初期重金属濃度 $120 \sim 150 \text{ g/l}$

18 Kcal/mol

であった。

「常陽」MK-II 照射済C型特殊燃料

プルトニウム富化度 30 w/o , 燃焼度 63 , 200 MWd/t の「常陽」MK-II 照射済C型特殊燃料を供試燃料とした13ランのビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度5.0 M, 溶解温度 100°C で空気攪拌, スターラ攪拌の場合の溶解率と時間との関係を図4.70に示す。

溶解が終了するまでの時間は、スターラ攪拌の方が空気攪拌に比べ短い。

以上をまとめると次のようになる。

- ・フェニックス照射済燃料では、マグネチックスターラによる回転速度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短い傾向であった。

- ・「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料においては、空気攪拌よりもマグネチックスターラーによる攪拌の方が溶解が終了するまでの時間は短い傾向であった。

即ち、攪拌を行うことにより燃料近傍に濃い硝酸を送り込むことができ、その結果として溶解を促進することができる。

また、空気攪拌による対流運動と平行な上下運動より、対流運動と垂直な横方向の運動の方がより高い攪拌効果を得られるものと考えられる。このことからRETFの連続溶解槽における振り子運動は、かなり攪拌効果が高いものと推察できる。

6) せん断片長さ

プルトニウム富化度29w/o, 燃焼度31, 700Mwd/tの「常陽」MK-II照射済燃料を供試燃料とした10ランのビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度3.5M, 溶解温度100℃でのせん断片長さ、10mm, 30mmでの溶解率と経過時間との関係を図4.71に示す。

溶解が終了するまでの時間は、せん断片長さ10mmの方が30mmに比べ短く溶解中期における溶解速度は、せん断片長さ10mm, 30mmでそれぞれ3.7g/cm²h, 2.9g/cm²hであった。

初期硝酸濃度5.0M, 溶解温度100℃でのせん断片長さ、30mm, 40mmでの溶解率と経過時間との関係を図4.72に示す。

溶解が終了するまでの時間は、せん断長さ30mmの方が40mmに比べ短く溶解中期における溶解速度は、せん断長さ30mm, 40mmでそれぞれ9.5g/cm²h, 9.3g/cm²hであった。

以上をまとめると次のようになる。

- ・せん断片長さが短い程、溶解が終了するまでの時間は短い。
- ・せん断片長さが溶解中期における溶解速度に与える影響は大きい。

即ち、単位重量当たりの反応面積が大きい程、溶解性は良い。

7) 燃料の形状 (せん断片と粉末)

プルトニウム富化度30w/o, 燃焼度63, 200Mwd/tの「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料を供試燃料とした13ランのビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度4.8M, 溶解温度105℃でのせん断片及び初期硝酸濃度4.8M, 溶解温度96℃での燃料粉末の溶解率と経過時間との関係を図4.73に示す。

粉末の方がせん断片に比べ溶解が完了するまでの時間は短かった。この事は、すでに、せん断片長さの影響に関する試験結果から予想されていたように、硝酸との接触面積が大きいことに起因すると考えられる。

8) 燃料せん断片開口率

プルトニウム富化度2.9 w/o, 燃焼度54, 700 MWd/tの「常陽」MK-II照射済燃料を供試燃料とした14ランのビーカースケール溶解試験について述べる。

初期硝酸濃度5.0 M, 溶解温度100℃における燃料せん断片開口率(0, 5, 10, 50, 100%)をパラメータとした試験を実施した。溶解開口率を表4.5に示す。

全ての溶解特性曲線を図4.40～図4.45に示す。また、不溶解特性曲線を図4.74に示す。

図から、

- ・ 開口率100%供試燃料の溶解は、ほぼ直線的で約3時間で溶解が終了している。
- ・ 開口率31%以上の供試燃料の溶解は、初期から中期にかけて直線的に溶解は進行するが、溶解80%程度から溶解速度が低下し、約4時間で溶解が終了している。
- ・ 開口率20%以下の供試燃料の溶解は、初期における溶解は、直線的であるが、(粉末溶解)中期から極端に溶解が悪くなっている。溶解は10時間にて60～70%である。これは、開口率が低いことにより硝酸の供給が、そ害されていることに起因するものと考えられる。

次に、中期溶解速度を図4.75に示す。

溶解速度も開口率が広い方が高く、開口率が狭くなると低下する。

今回のホット試験から、せん断片開口率の溶解性への影響は、開口率20%前後が溶解への影響を左右する目安となる結果が得られた。

集合体せん断のコールド試験結果より、集合体せん断後の開口率は最小でも30%程度確保される見込みであるので、実燃料の集合体せん断では特に問題がないと考えられる。

9) 硝酸液量

小型溶解試験に用いる硝酸液量は、100, 500, 1000 mlの3種類によって行なわれている。硝酸液量によるせん断片の溶解性への影響を確認した。

図4.76に示した溶解特性曲線は、100, 1000 mlの液量での溶解である。供試燃料は、フェニックス照射済燃料で燃焼度はいずれも108, 000 MWd/tであり、溶解温度は110℃, 105℃である。

	燃 烧 度 (Mwd/t)	硝酸濃度 (M)	溶解温度 (°C)	液 量 (ml)	溶解速度 (g/cm ² h)
1 2 - 0 5	108,000	5.3	110	100	11.8
1 2 - 2 5	108,000	5.5	105	1000	13.5

図から、溶解が終了するまでの時間差は、約1時間程度である。中期溶解速度も1.2～1.3.5 g/cm² hとほぼ同一速度である。以上から、溶解には必要な硝酸液量があれば溶解は可能であり、液量による差は大きい結果が得られた。

4. 不溶解残渣

使用済燃料の再処理工程において溶解液は、清澄工程へ送られ不溶解残渣等を除去する。ここでは、CPFで得られた不溶解残渣の発生量、残渣成分割合、粒度分布について述べる。

不溶解残渣の回収フローを図5.1に示す。

溶解槽で照射済燃料を溶解した後の溶解液及び、溶解槽の洗浄液をガラス製のビンへ送り放置することにより、不溶解残渣を自然沈降させる。自然沈降せずに上澄液中に残留している不溶解残渣は、捕集粒子径1.0, 0.6, 0.5 μmmのガラス繊維濾紙、3段で構成される多段濾過ユニットで濾過を行い濾過後の液はガラス製ビンに受けている。濾過中は、ガラス製ビンの中を真空ポンプにより減圧を行なっている。尚、上澄液中の不溶解残渣の重量は、濾過前後の濾紙を秤量することにより求めている。

自然沈降した不溶解残渣は、付着している溶解液を除去するためビーカーに移し変え常温3.0 M硝酸を注入し放置した後、上澄液を抜き出す。この操作を数回繰り返す。また、必要に応じて溶け残りのプルトニウム等を溶解するため、3.0 M硝酸を加えて加熱洗浄を実施している。

洗浄後の不溶解残渣は、ガラス製ビーカーに移し変え自然乾燥させた後、回収し不溶解残渣の秤量及び、発光分光法等による残渣の成分分析、粒度分布測定を行なっている。

(1) 不溶解残渣の発生率

1ランから13ランまでのMOX燃料重量に対する残渣重量の発生割合を表5.1に示す。尚、残渣重量は、不溶解残渣のフローで述べたように濾紙で捕集した重量と自然沈降した不溶解残渣を洗浄、乾燥させた後の重量の和である。表5.1をもとに燃焼度とMOX燃料重量に対する不溶解残渣の発生率を図5.2に示す。図中、プルトニウム富化度1.8～2.0 w/o及び、3.0 w/oに分けて線を入れている。図から燃焼度が増加すると不溶解残渣の発生量は増加して

いる。また、プルトニウム富化度が高い程、発生量が多いことが解かる。このことは、文献で言われているものと同じ傾向である。

但し、溶解条件の改善により、不溶解残渣量を減らすことが可能である。
(11ランと12ランの比較より)

(2) 不溶解残渣の成分割合

発光分光法による不溶解残渣の成分割合を表5.2に示す。不溶解残渣の主成分は、Mo, Ru, Rh, Pd, Tcであることが解かる。文献でも主成分は、同様でありその割合も同じ傾向であることが示されている。表5-3に5元素の割合を示す。

また、不溶解残渣中のプルトニウム、ウランの割合について評価した結果、プルトニウム、ウランの含有量は溶解条件によって不溶解残渣として溶け残る量も変化することがわかった。例えば、「常陽」MK-II照射済燃料(10ラン)とフェニックス照射済燃料(12ラン)を比較すると、初期硝酸濃度、溶解温度によってプルトニウムの溶け残り量は大きく異なることが解かる。

10ランによるプルトニウム溶け残り量は、約0.32%

12ランによるプルトニウム溶け残り量は、約0.017%

通常の残渣洗浄は常温洗浄にて行っているが、11ランについては、更に残渣中のU, Puを減少させる為、追い込み溶解を目的に加熱洗浄を行った。

$$\text{溶け残り量} = \frac{\text{分析値 (濃度)} \times \text{残渣量}}{\text{装荷重量 (ORIGEN値)}} \times 100\%$$

(3) 不溶解残渣の粒度分布

清澄工程においては、抽出工程に悪影響を及ぼさないように溶解残渣を十分に除去することが必要である。その為には、溶解液中の不溶解残渣の粒度分布、清澄機器の清澄度等を把握する必要がある。

ここでは、「常陽」MK-II照射済燃料及び、フェニックス照射済燃料を用いた試験での不溶解残渣の粒度分布に関するデータについて述べる。粒度分布計測定原理及び、粒度分布測定条件をそれぞれ図5.4, 表5.3に示す。また、粒度測定用サンプル採取ポイントを図5.5に示す。

「常陽」MK-II照射済燃料(プルトニウム富化度29w/o, 燃焼度13,800Mwd/t)

溶解液の粒度分布を図5.6に示す。

この粒度分布測定用サンプルは、②のポイント、溶解槽からガラス製ビンへ移し変えた直前にて採取したものである。図中の個数及び、体積は累積値を示す。粒度分布を見ると1μm以下の径を持つものが80%を占めている。

フェニックス照射済燃料(プルトニウム富化度30w/o, 燃焼度94,000Mwd/t)

溶解液の粒度分布を図5.7に示す。

図中の沈降前のサンプルは、前項「常陽」MK-II照射済燃料と同様②にて採取したものである。また、上澄み濾過後の曲線は、捕集粒径0.5, 0.6, 1.

0 μm のガラス繊維濾紙3段からなる多段濾過ユニットで濾過した後、③のデータである。

図中から、累積分布率80%を占めている粒径は1.7 μm 以下であり、前述の「常陽」MK-II照射済燃料と比較すると粒度が大きくなる傾向にある。燃焼度が増加すると不溶解残渣の粒径は、大きくなる傾向にあると推察される。これは、FMFでの観察結果、並びに文献等で行われている、白金元素の析出、燃焼度増加に伴う粒径の成長とも付合する。

上澄み濾過後の不溶解残渣の粒子数は、沈降前のそれと比べ約4%となった。また、図5.8に不溶解残渣の粒度と個数との関係を示すが多段濾過ユニットで濾過することにより、粒径1.0 μm 以上の不溶解残渣が除去されたことがわかる。

次に溶解液中における、難溶物質の再析出に関して粒度分布の面からのデータを取得する為に、ビーカースケールでの清澄試験を行なったので以下述べることにする。

ビーカースケール清澄試験フローを図5.9に示す。溶解液450 mlを捕集粒径1.0 μm の濾紙にて、濾過した溶解液を230 mlの溶解液と、さらに捕集粒径0.5 μm の濾紙にて濾過した220 mlの溶解液をそれぞれ、ガラス製ビンに受け放置したそれぞれの溶解液について、上澄み液と攪拌後の液について粒度分布測定を行なった。

捕集粒径1.0 μm の濾紙で濾過した上澄み液及び、攪拌後の溶解液の粒度分布をそれぞれ図5.10, 図5.11に示す。

また、捕集粒径1.0, 0.5 μm の濾紙で濾過した上澄み液及び、攪拌後の溶解液の粒度分布をそれぞれ図5.12, 図5.13に示す。

これらの図から、粒子数、粒径について再析出と考えられるような事象は見い出せず、この程度の濃度(150 g/l)では難溶物質の再析出は生じないものと考えられる。

5. Krの放出

溶解試験方法のところでは述べたように、ベンチスケール溶解試験においては、燃料の溶解終了の目安として、またビーカースケール溶解試験においては、溶解率の算定の為にKrの放出量の監視及び測定を行なっている。

ここでは、ベンチスケール溶解試験でのウラン、プルトニウム濃度の測定から求めた溶解率とKr放出量から求めた溶解率の装荷及び平均燃焼度と溶解時のKr放出率との関係について述べる。

(1) Kr放出率と溶解率との相関

「常陽」MK-I照射済燃料(プルトニウム富化度18 w/o, 平均燃焼度40, 100 MWd/t)及び「常陽」MK-II照射済燃料(プルトニウム富化度29 w/o, 平均燃焼度13, 800 MWd/t)のベンチスケール溶解試験でのKr放出率と溶解率との相関を図6.1に示す。

図6.1から多少ばらつきはあるが、良い相関と考えられる。

尚、低密度燃料であるC型特殊燃料とフェニックス照射燃料では、ウランとプルトニウムの溶解性に違いが見られ、 K_r はそのほぼ平均値的な放出率となっている。

(2) K_r 放出率と燃焼度

1ラン～13ランまでのホット試験での燃料ピンのせん断時及び溶解時に発生した K_r 放出割合を表6.1(1), (2)に示す。なお表中の割合は、せん断時及び溶解時に放出した K_r 量の和を100%としている。この表中の溶解時での放出割合と燃焼度との関係を図6.2に示す。燃焼度が高い程、溶解時における K_r 放出率は少なくなる傾向にある。これは燃焼度が高くなる程、燃料中の K_r は燃料ピン・プレナム部への移行量が多くなり、せん断時に放出されてしまうためと考えられる。

6. せん断片粉末

CPF試験施設におけるせん断は、圧縮空気により上部移動歯を上下動させ1本ずつせん断を行なっている。このせん断時に発生する、燃料せん断粉末について記述する。

表7.1に各ランに発生したせん断粉末重量を示す。

「常陽」MK-I照射済燃料（1ラン，3ラン，5ラン）とフェニックス照射済燃料（12ラン）は、MOX燃料のコア部と軸方向ブランケットを有する燃料である。これらをせん断するとせん断粉末は40～60gの粉末が発生した。また、「常陽」MK-II照射済燃料ではMOX燃料のコア部と上下に断熱ペレットが1個ずつ配置された燃料であるが、これらをせん断すると10～15gの粉末が発生した。

ブランケット燃料を有する燃料は、MOX燃料だけの燃料より燃料スタック長さ（せん断個数）と燃料径（せん断面積）より体積比を出すと、約3倍になるが、せん断における発生粉末重量は約4倍の量が発生している。

また、燃料による違いでは、燃料密度、燃焼度による燃料粉末量の発生には差が無いようである。

7. FBR燃料再処理試験成果

ベンチスケール溶解試験

1. 「常陽」MK-I照射済燃料（燃焼度 ~ 40 , 100MWd/t ）が10時間以内に溶解する初期硝酸濃度, 溶解温度の範囲を確認した。
2. DFR照射済燃料（燃焼度 ~ 52 , 600MWd/t ）の溶解性はプルトニウム富化度が同等である「常陽」MK-I照射済燃料（燃焼度 ~ 40 , 100MWd/t ）と同等である。
3. 「常陽」MK-II照射済燃料（燃焼度 ~ 31 , 700MWd/t 、プルトニウム富化度 29w/o ）は、「常陽」MK-I照射済燃料（燃焼度 ~ 40 , 100MWd/t 、プルトニウム富化度 18w/o ）に比べ、溶解時間が長くなる。
4. フェニックス照射済燃料（燃焼度 ~ 94 , 000MWd/t 、プルトニウム富化度 30w/o ）は、「常陽」MK-I照射済燃料（燃焼度 ~ 40 , 100MWd/t 、プルトニウム富化度 18w/o ）「常陽」MK-II照射済燃料（燃焼度 ~ 31 , 700MWd/t 、プルトニウム富化度 29w/o ）に比べ、溶解時間が長くなる。
5. プルトニウム富化度
 - ・ プルトニウム富化度 20w/o 以下の照射済燃料は、燃焼度の影響は無視できる程度であり溶解温度 100°C 、初期硝酸濃度 3.5M においてウラン、プルトニウムは、約5～6時間にて溶解する。
 - ・ プルトニウム富化度が増加すると溶解速度は低下する。
6. 初期硝酸濃度
 - ・ 「常陽」MK-II照射済燃料C型特殊燃料、燃焼度 54 , 100MWd/t において初期硝酸濃度 4.4M 、溶解温度 104°C における溶解時間は約6時間である。
 - ・ フェニックス照射済燃料、燃焼度 94 , 000MWd/t において初期硝酸濃度 4.27M 、溶解温度 107°C における溶解時間は約5時間である。（濃縮運転）

- ・「常陽」MK-II照射済燃料、燃焼度31, 700MWd/tにおいて初期硝酸濃度3.4M, 溶解温度97℃における溶解時間は約10時間溶解で90%である。
- ・初期硝酸濃度が高いほうが、溶解速度は高く溶解性は良好である。

7. 溶解温度

- ・「常陽」MK-I照射済燃料、燃焼度40, 100MWd/tにおいて溶解温度90℃, 初期硝酸濃度3.5Mにおける溶解は約6時間で溶解、溶解温度70℃, 初期硝酸濃度3.5Mで10時間溶解で96%の溶解であった。
- ・「常陽」MK-II照射済燃料、燃焼度13, 800MWd/tにおいて溶解温度97℃, 初期硝酸濃度3.5Mにおける溶解は時間溶解で95%、溶解温度90℃, 初期硝酸濃度3.48Mで10時間溶解で94%の溶解であった。
- ・溶解温度が高い程、溶解性は良好である。

8. 燃焼度

- ・「常陽」MK-II照射済燃料は、燃焼度が増加するに従って溶解性は悪くなっている。燃焼度54, 700MWd/tの燃料は10時間溶解において約73%の溶解率である。また、高燃焼度燃料(94,000MWd/t)フェニックス照射済燃料の溶解も10時間溶解において41%の溶解率である。
- ・プルトニウム富化度29w/o照射済燃料は、燃焼度が増加するとともに溶解時間は長くなり、溶解性は悪くなる。
- ・溶解性への律速条件として、照射後試験より燃料組織、プルトニウム再分布、不溶解性金属状析出物等が考えられる。

9. 重金属濃度

- ・現状ではばらつきが多く、これからの試験課題である。

ビーカースケール溶解試験

1. 初期硝酸濃度

- ・「常陽」MK-II照射済燃料, 燃焼度31, 700Mwd/t
初期硝酸濃度8.0M, 溶解温度100℃において、溶解は約3時間で終了する。
- ・フェニックス照射済燃料, 燃焼度108, 000Mwd/t
初期硝酸濃度7.0M, 溶解温度110℃において、溶解は約3時間で終了する。
- ・「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料, 燃焼度63, 200Mwd/t
初期硝酸濃度7.0M, 溶解温度100℃において、溶解は約4時間で終了する。

初期硝酸濃度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短い。特に高プルトニウム富化度、高燃焼度燃料においても5~7Mで4時間程度で溶解する。

「常陽」MK-II照射済燃料, フェニックス照射済燃料において、溶解中期における溶解速度は、初期硝酸濃度の1.3乗に比例する。

2. 溶解温度

- ・「常陽」MK-II照射済燃料
溶解温度105℃, 初期硝酸濃度3.5Mにおいて、溶解は約3時間で終了する。
- ・フェニックス照射済燃料
溶解温度108℃, 初期硝酸濃度5.0Mにおいて、溶解は約4時間で終了する。
- ・「常陽」MK-II照射済C型特殊燃料
溶解温度105℃, 初期硝酸濃度4.8M, 初期重金属濃度150g/lにおいて溶解は約3.5時間で終了する。

溶解温度が高い程、溶解が終了するまでの時間は短くなる。溶解温度が高い程、溶解中期における溶解速度は高くなる。

アレニウスの式から活性化エネルギーを求めると

「常陽」MK-II照射済燃料		14 Kcal/mol
フェニックス照射済燃料		14 Kcal/mol
「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料		
初期重金属濃度	0 g/l	12 Kcal/mol
重金属濃度	120~150 g/l	18 Kcal/mol

であった。

3. 初期重金属濃度

- ・初期重金属濃度が溶解中期における溶解速度及び、溶解かが終了する時間の長さに与える影響は大きい。

4. 燃焼度

- ・「常陽」MK-II照射済燃料（燃焼度31, 700~54, 100 MWd/t）は、初期硝酸濃度5.0 M, 溶解温度100℃において約3~4時間で溶解は終了する。
- ・フェニックス照射済燃料（燃焼度108, 000 MWd/t）は、初期硝酸濃度5.0 M, 溶解温度103℃において、約4時間前後で終了する。
- ・「常陽」MK-II IC型特殊照射済燃料, フェニックス照射済燃料の中期溶解速度は向上する傾向が見える。

5. 攪拌方法

- ・攪拌空気流量が多い程、また、マグネチックスターラー, 動的運動が高い程、溶解が完了するまでの時間は短い傾向にある。

6. せん断片長さ

- ・せん断長さが短い程、溶解が完了するまでの時間は短い。
- ・せん断長さが溶解中期における溶解速度に与える影響は大きくない。

7. 燃料の形状

- ・硝酸との接触面積が大きい粉末の方が、せん断片に比べ溶解が完了するまでの時間は短い。

8. 燃料せん断片開口率

- ・せん断片開口率の溶解性への影響は、開口率20%前後が溶解への影響を左右する目安となる。

9. 硝酸液量

- ・せん断片の溶解は、液量による差は大きくない。

不溶解残渣

- ・ 燃焼度が増加すると、不溶解残渣量は増加する。
- ・ 燃焼度が増加すると、不溶解残渣粒径は大きくなる。
- ・ 不溶解残渣の主成分は、Mo, Ru, Rh, Pd, Tcである。
- ・ 不溶解残渣の粒径は、燃焼度94,000MWD/T程度までは大半が20 μ m以下である。

FBR燃料再処理試験成果まとめ

1. 初期硝酸濃度

- ・溶解中期における溶解速度は、初期硝酸濃度の1.3乗に比例する。

2. 溶解温度

- ・溶解温度が高い程、溶解速度は高くなる。

3. プルトニウム富化度

- ・燃料の溶解は、プルトニウム富化度が増加すると溶解速度は低下する。

4. 燃焼度

- ・「常陽」MK-I照射済燃料は、燃焼度の影響は小さい。
- ・「常陽」MK-II照射済燃料は、燃焼度が増加すると共に溶解性は悪くなる。
- ・「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料、フェニックス照射済燃料の中期溶解速度は、向上する傾向が見える。
- ・溶解性への律速条件として、照射後試験結果より考察すると燃料の組織、プルトニウム再分布等が考えられる。

表 1 - 1 CPFにおける高速炉燃料リサイクルホット試験

年度 ホット試験	57年度	58年度	59年度	60年度	61年度	62年度	63年度	平成元年度
第1回「常陽」MK-I照射済燃料	4,400MWD/T (2本) ○————○							
第2回「常陽」MK-I照射済燃料		13,200MWD/T (2本) ○————○						
第3回「常陽」MK-I照射済燃料		40,100MWD/T (4本) ○————○						
第4回「常陽」MK-I照射済燃料		40,100MWD/T (4本) ○————○						
第5回「常陽」MK-I照射済燃料		40,100MWD/T (4本) ○————○						
第6回「常陽」MK-II照射済燃料			13,800MWD/T (3本) ○————○					
第7回「常陽」MK-II照射済燃料			13,800MWD/T (3本) ○————○					
第8回「常陽」MK-II照射済燃料				31,700MWD/T (3本) ○————○				
第9回 DFR 照射済燃料				52,600MWD/T ○————○				
第10回「常陽」MK-II照射済燃料				31,700MWD/T (3本) ○————○				
第11回 Phoenix照射済燃料					94,000MWD/T ○————○			
第12回 Phoenix照射済燃料						94,000MWD/T ○————○		
第13回「常陽」MK-II照射済燃料							54,100MWD/T (3本) ○————○	
第14回「常陽」MK-II照射済燃料							54,700MWD/T (3本) ○————○	

表 2 - 1 供試燃料製造仕工程

仕 様 ホット試験	照射炉心	集合体 番 号	燃料ピン 番 号	プルトニウム 富化度 (%)	燃焼混合 時間(hr)	成 型 圧 (t/cm ²)	焼結温度 (℃)	ペレット密度 (CTD)	固 容 度 (%)
第1ラン	「常陽」 MK-I	PPJW1H	4360,4488	18	5	3.0	1790	93	>95
第2ラン	「常陽」 MK-I	PPJD2U	9774,9775	18	6	2.5	1580	93	100
第3ラン	「常陽」 MK-I	PPJX13	0488,1211 2115,3003	18	7	4.3	1660	93	>95
第4ラン	「常陽」 MK-I	PPJX13	0415,0417 0419,2014	18	7	4.0	1660	93	>90
第5ラン	「常陽」 MK-I	PPJX13	0580,1088 1210,1231	18	7	4.0	1750	93	>90
第6ラン	「常陽」 MK-II	PFD003	00395,00443 00416	29	6	4.5	1650	93	>95
第7ラン	「常陽」 MK-II	PFD003	00431,00457 00456	29	6	4.5	1650	93	>95
第8ラン	「常陽」 MK-II	PFD001	00032,00069 00106	29	5	4.5	1650	93	95
第9ラン	ドンレイ	DFR332/5.6		18/20					
第10ラン	「常陽」 MK-II	PFD001	00073,00108 00057	29	5	4.5	1650	93	95
第11ラン	Phenix	Phenix P-3		30		1.5	1650	85	97
第12ラン	Phenix	Phenix P-3	84K-1,88K-1 88S-3	30		2.0	1650	85	100
第13ラン	「常陽」 MK-II	PFC020	C2H23, C2H25 C2H28	30	6	3.0	1610	85	92
第14ラン	「常陽」 MK-II	PFD209	20981,20936 20971	29	12	5.0	1600	93	100

表 2 - 2 照射条件

項目 ホット試験	集合体平均燃焼度 (MWD/T)	最大線出力 (W/cm)	冷却日数 (日)
第1ラン	4,400	250	430
第2ラン	32,000	250	654
第3ラン	40,100	230	648
第4ラン	40,100	230	830
第5ラン	40,100	230	1000
第6ラン	13,800	360	408
第7ラン	13,800	360	495
第8ラン	31,700	309	395
第9ラン	52,600	410	4770
第10ラン	31,700	309	674
第11ラン	94,000	440	927
第12ラン	94,000	440	1488
第13ラン	54,100	360	736
第14ラン	54,700		344

※ DFR 332/5 常陽 400~425w/cm 55,000MWD/T
 332/6 もんじゅ 370~397w/cm 63,000MWD/T

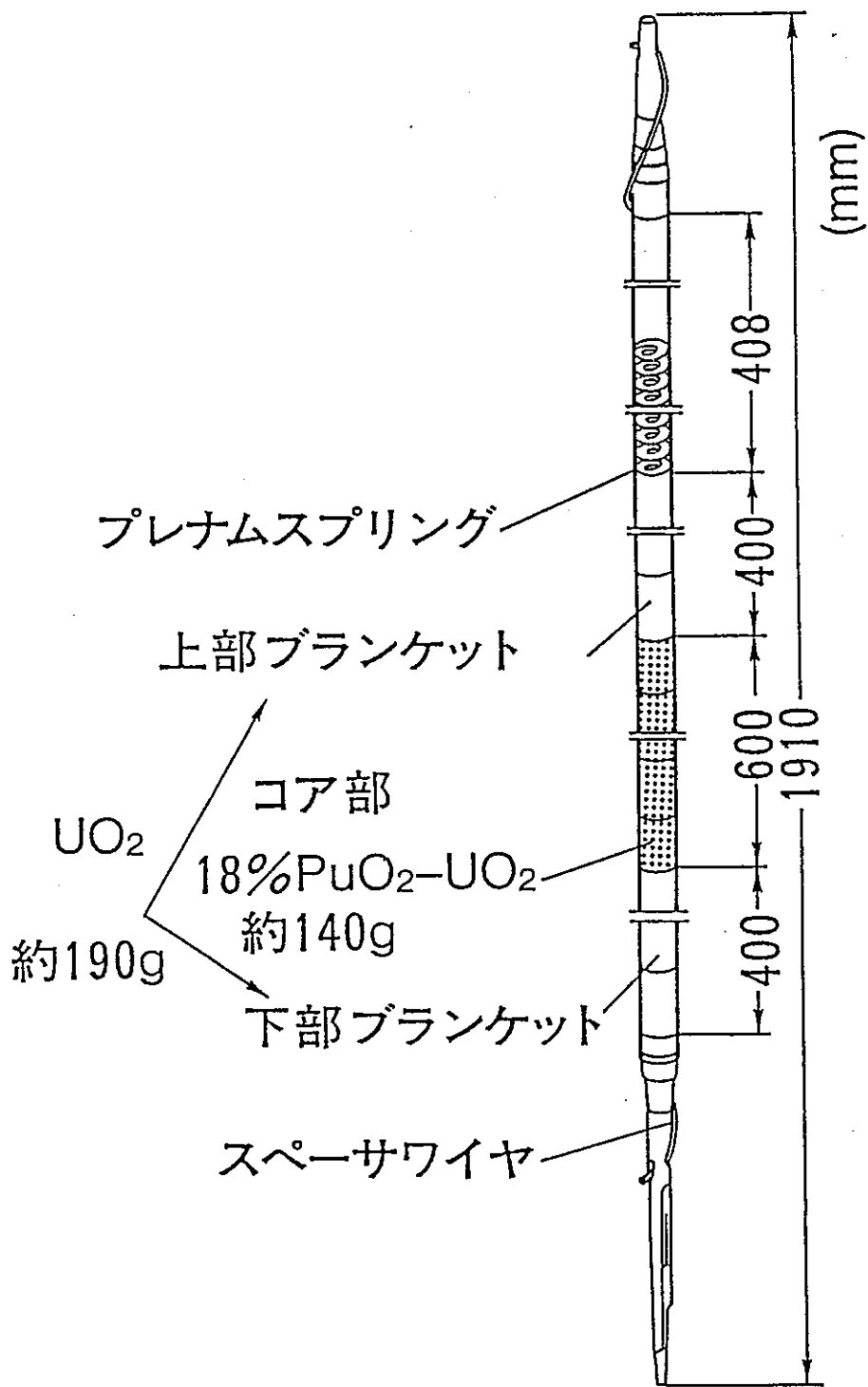
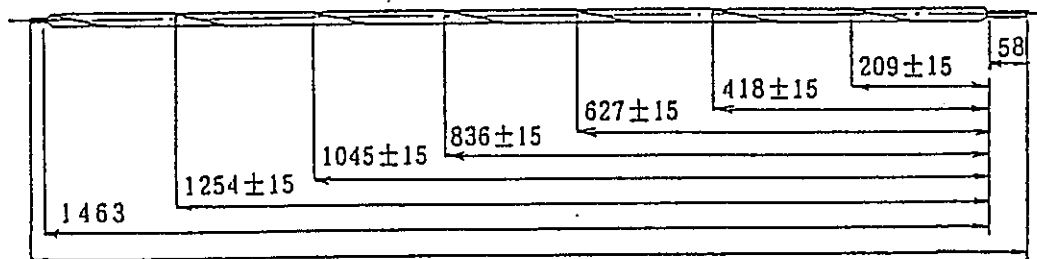
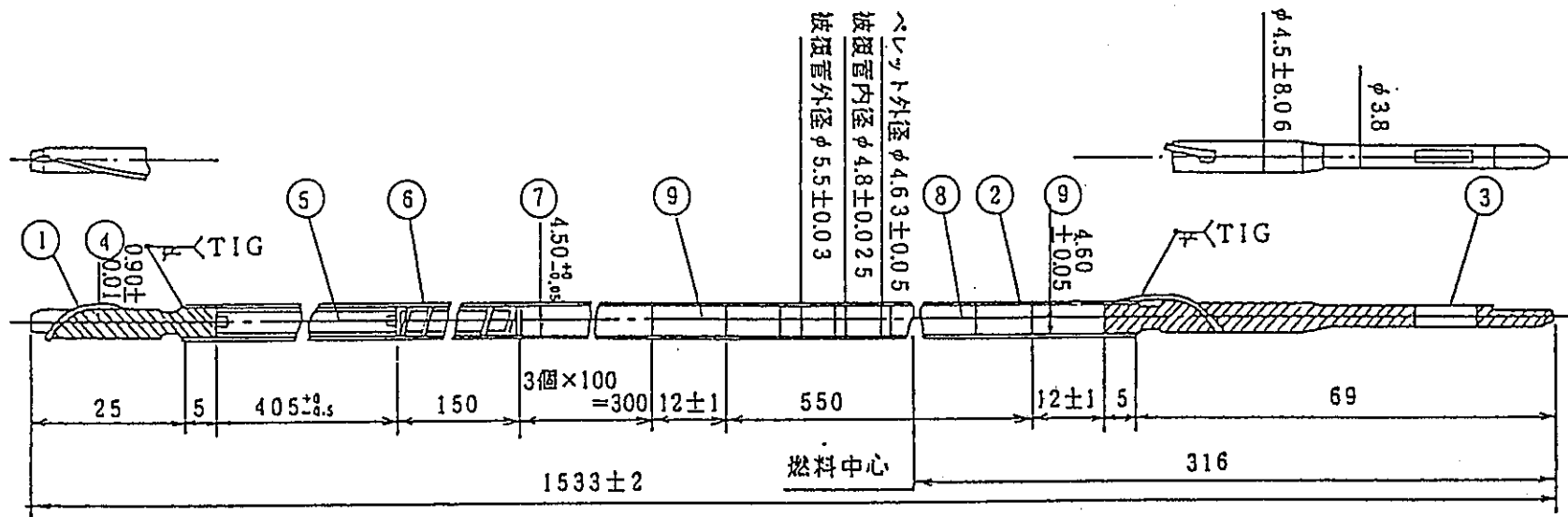


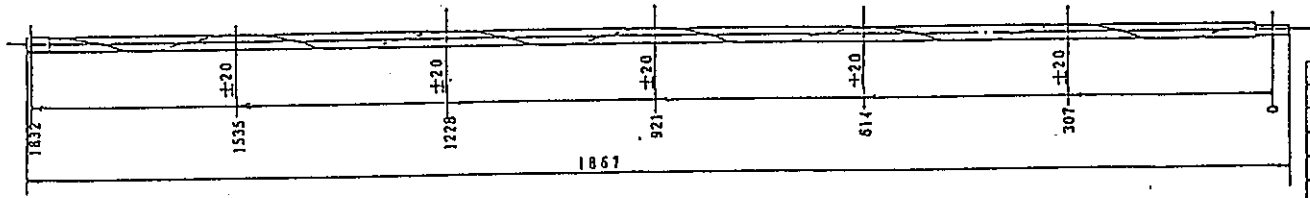
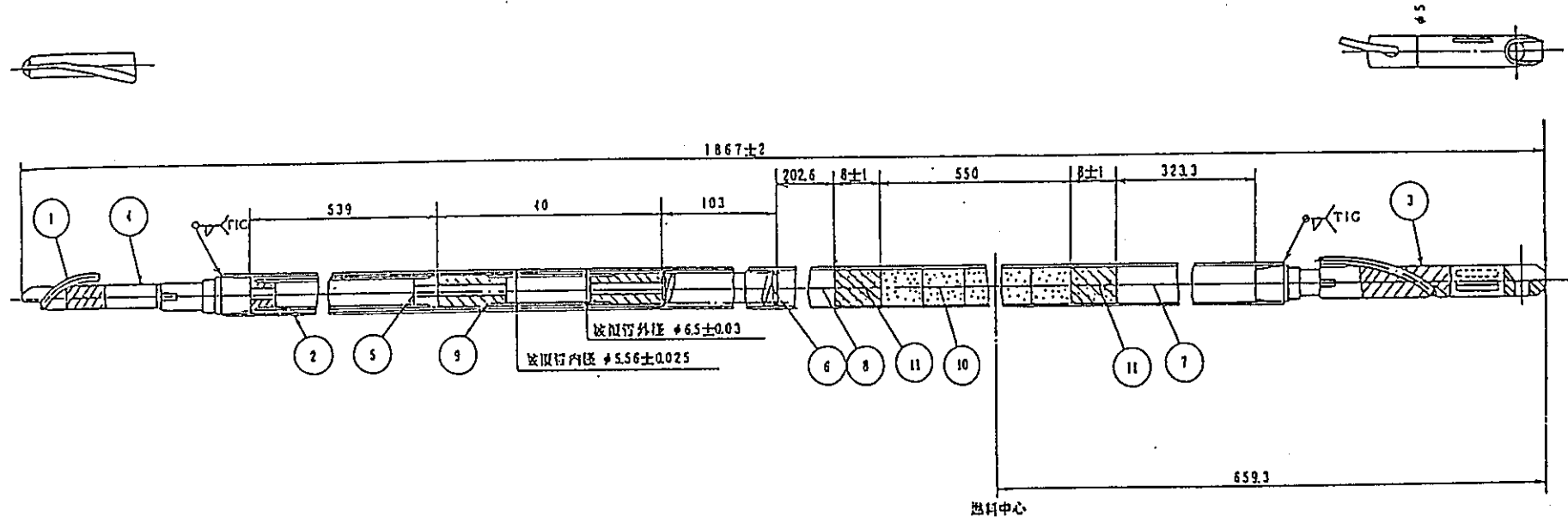
図2. 1 「常陽」MK-I照射用燃料ピン



ラッピングワイヤ全体図(1/5)

9	インシュレータベレット	劣化 UO ₂	2
8	燃料ベレット	PtO ₂ UO ₂	
7	要素反射体	SUS316 相当	3
6	プレナムスプリング	SUS304 WPB	1
5	抑え板付プレナムスリーブ	SUS316	1
4	上部端栓	SUS316	1
3	下部端栓	SUS316	1
2	被覆管	SUS316 相当	1
1	ラッピングワイヤ	SUS316 相当	1
品番	品名	材質	個数

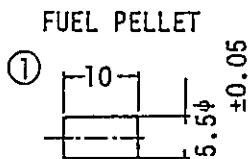
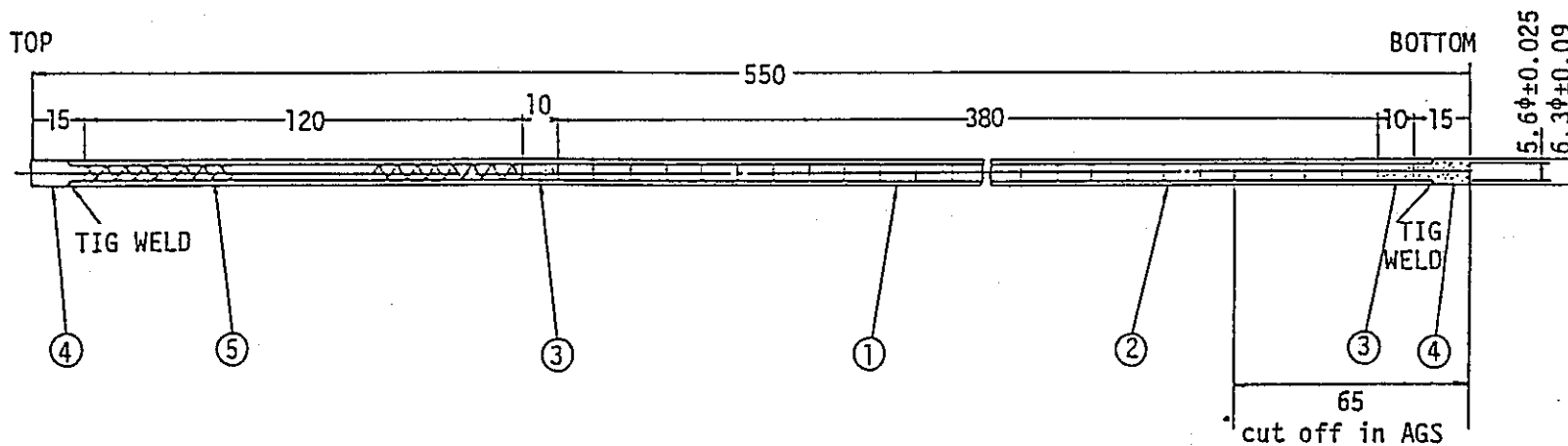
図 2. 2 「常陽」 MK-II 照射用燃料ピン



ラッピングワイヤ配置図 (1/5)

11	インシュレータプレート	劣化 UO ₂	2		
10	炉心用ベレット	ACU-UO ₂			
9	ラッピングワイヤ	SUS316	1		
8	炭素反射体 (上)	SUS316	3		
7	炭素反射体 (下)	SUS316	2		
6	プレナムスプリング	SUS304	1		
5	ラッピングワイヤ	SUS316	1		
4	上 炭 素 体	SUS316	1		
3	下 炭 素 体	SUS316	1		
2	炭 素 体	SUS316	1		
1	ラッピングワイヤ	SUS316	1		
品名	図号	品名	材質	数量	備考
製法	尺取	炭素			
		材料			
分類	UNIS-C2M UNIS-C3M	名称	炉内特殊燃料		
コード		図号	Fig. V-2-2		

図 2. 3 「常陽」 MK-II C 型特殊燃料
照射用燃料ピン



Type of Fuel	(Pu-U) Mixed Oxide
Plutonium Content	18 ± 0.5 w/o
U ²³⁵ Enrichment	60 ± 0.5 w/o
Form of Fuel	Solid Pellet
Fuel Density	94 ± 2 % T.D

Type of Fuel	(Pu-U) Mixed Oxide
Plutonium Content	20 ± 1 w/o
Uranium Enrichment	90 ± 1 w/o
Form of Fuel	Solid pellet
Fuel Density	85 ± 2 % T.D

5	SPRING	AISI 316		
4	END PLUG	AISI 316		
3	INSULATOR	Nat. UO ₂		
2	CLAD	AISI 316		
1	FUEL			
ITEM	NAME	MATERIAL	SUPL.NO	REMARKS
TITLE			SCALE 1/1	DATE
			ANGLE	DESIGN - -
				DW . Sab 70-7-15
				CHECK - -
				APPR - -
POWER REACTOR AND NUCLEAR FUEL DEVELOPMENT CORPORATION TOKAI-JAPAN			DWG.NO. 6920-01-50200	

図 2. 5 DFR 照射用燃料ピン

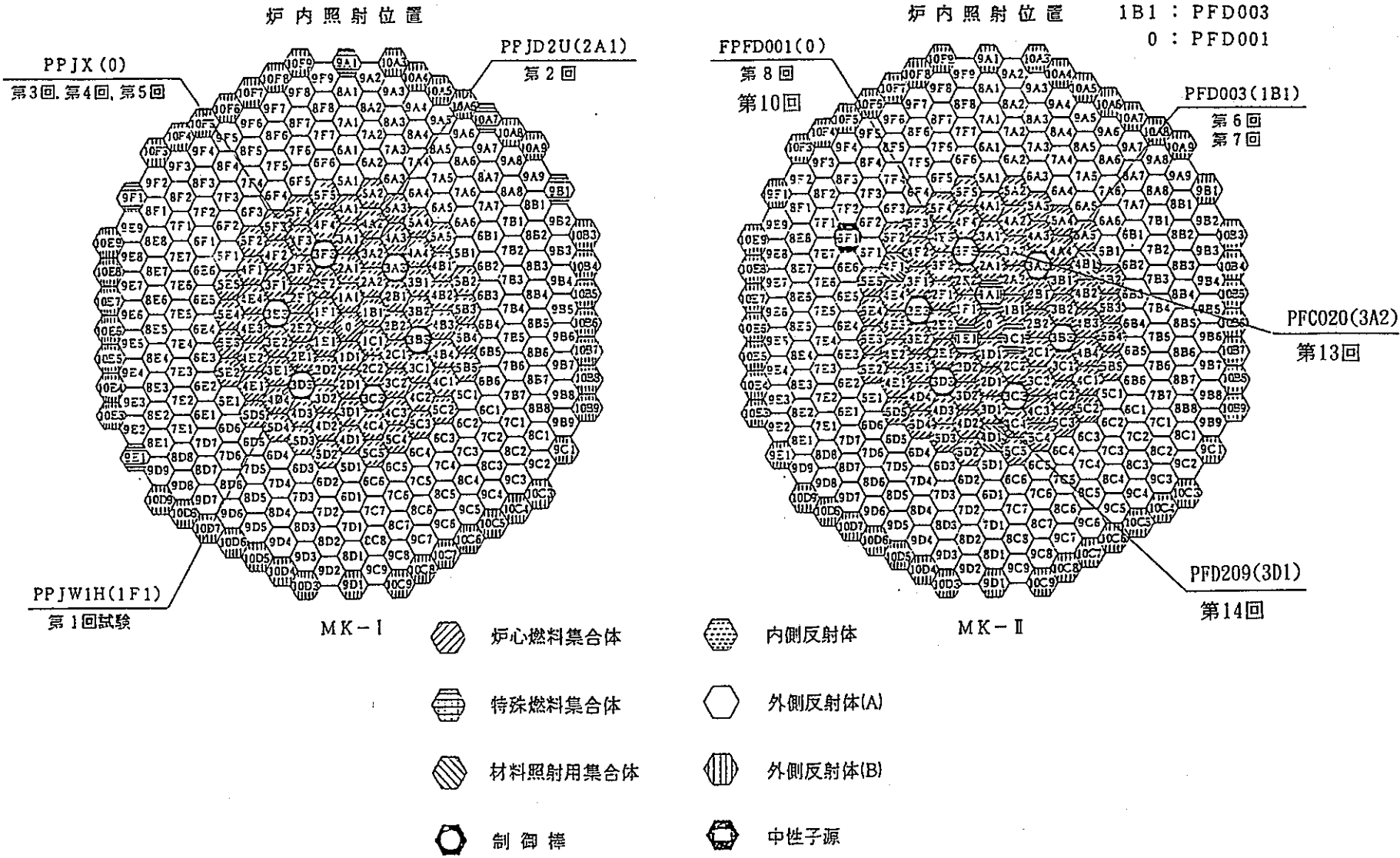
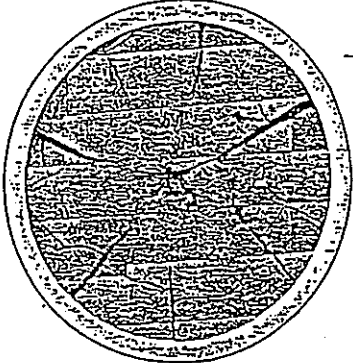
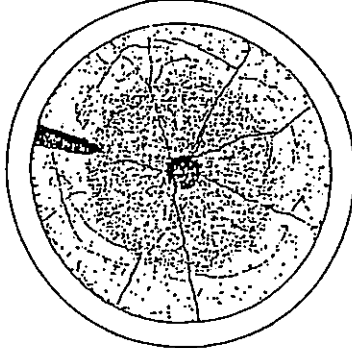
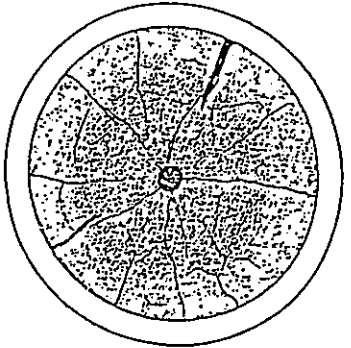
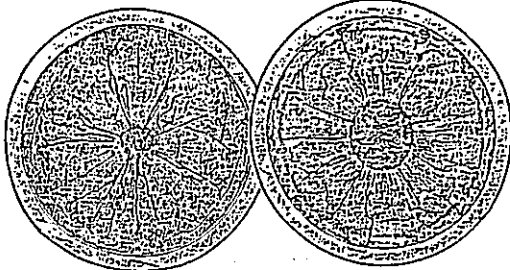
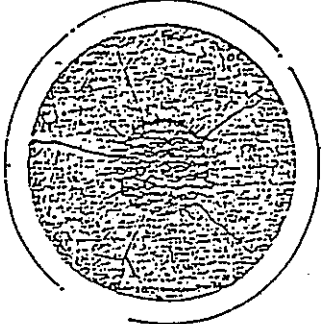



图 2. 6 燃料集合体装荷位置

Photo 2-1 燃料組織図

<p>P D J X 1 3</p> <p>JOYO MK-I Specimen NO. 533564</p> <p>第3ラン 第4ラン 第5ラン</p> 	<p>P F D 0 0 1</p> <p>JOYO MK-II Specimen NO. 815244</p> <p>第8ラン 第10ラン</p> 	<p>P F D 0 0 3</p> <p>JOYO MK-II Specimen NO. 70A644</p> <p>第6ラン 第7ラン</p> 
<p>D F R 3 3 2 / 5 . 6</p>	<p>P h e n i x</p>	<p>P F D 2 0 9</p>
<p>第9ラン</p> <p>DFR332/5 AO00523 DFR332/6 Specimen NO. YAOS033</p> 	<p>Phenix P-3 (94,000MWD/T)</p> <p>第11ラン 第12ラン</p> 	<p>第14ラン</p> 

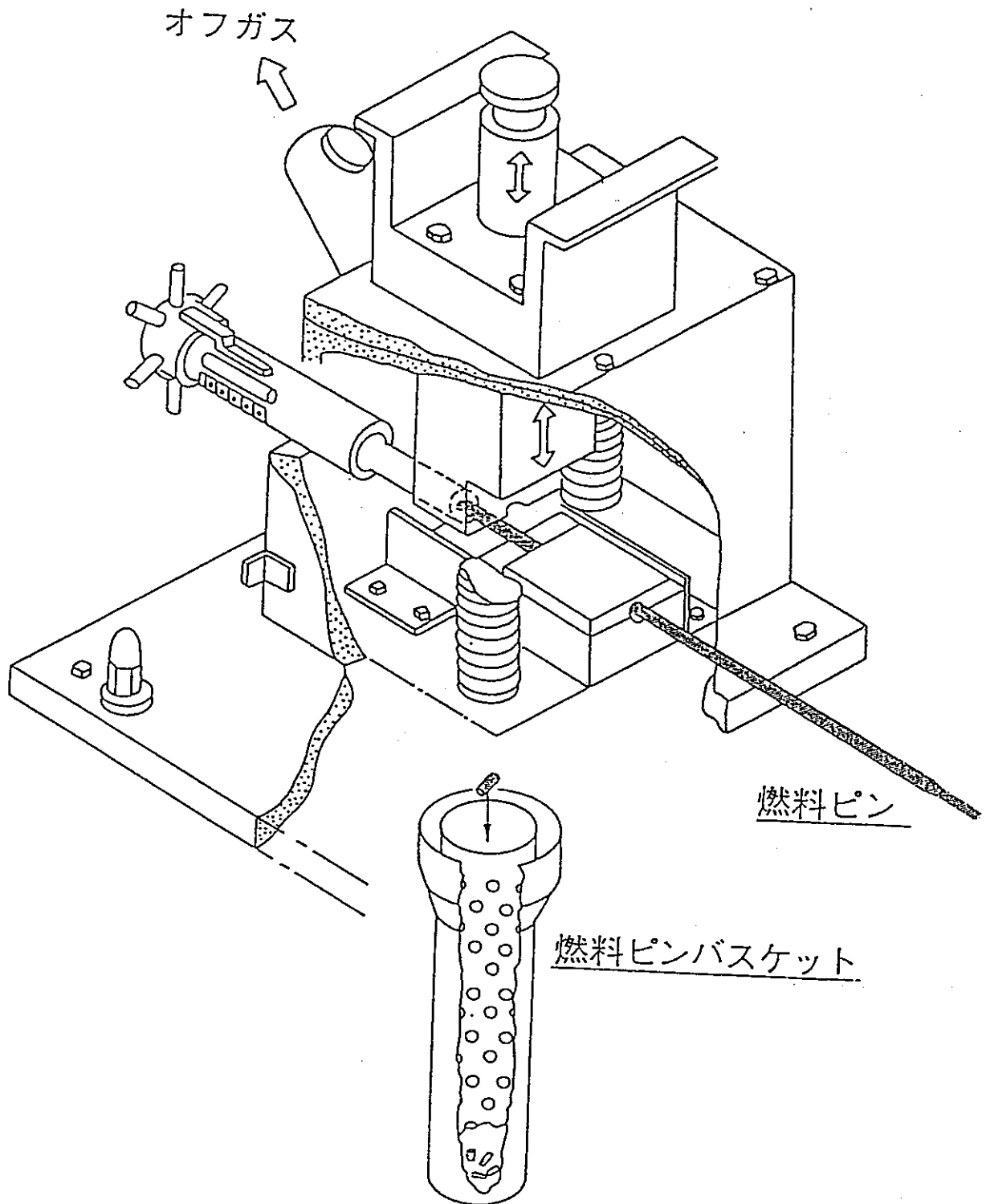
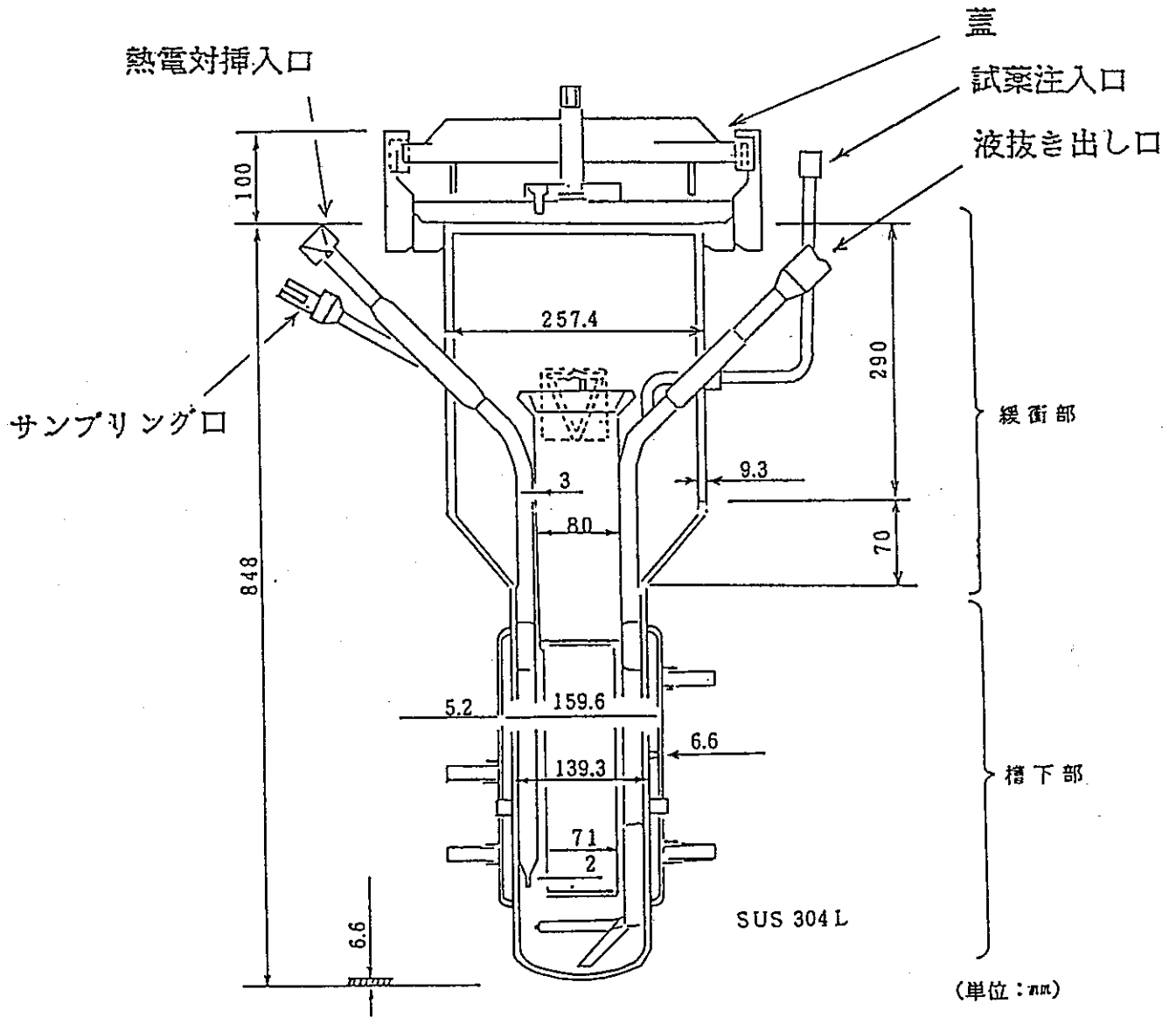


図 3. 1 せん断機



全 容 積 : 22.0 ℓ
 有 効 容 積 : 10 ℓ
 (液面警報レベル)
 運 転 容 積 : 3.2 ℓ
 (通常運転容積)
 排出不可能量 : 0.035 ℓ
 計測不可能量 : 0.15 ℓ
 (液面計の作動限界)

図 3. 2 ベンチスケール溶解槽

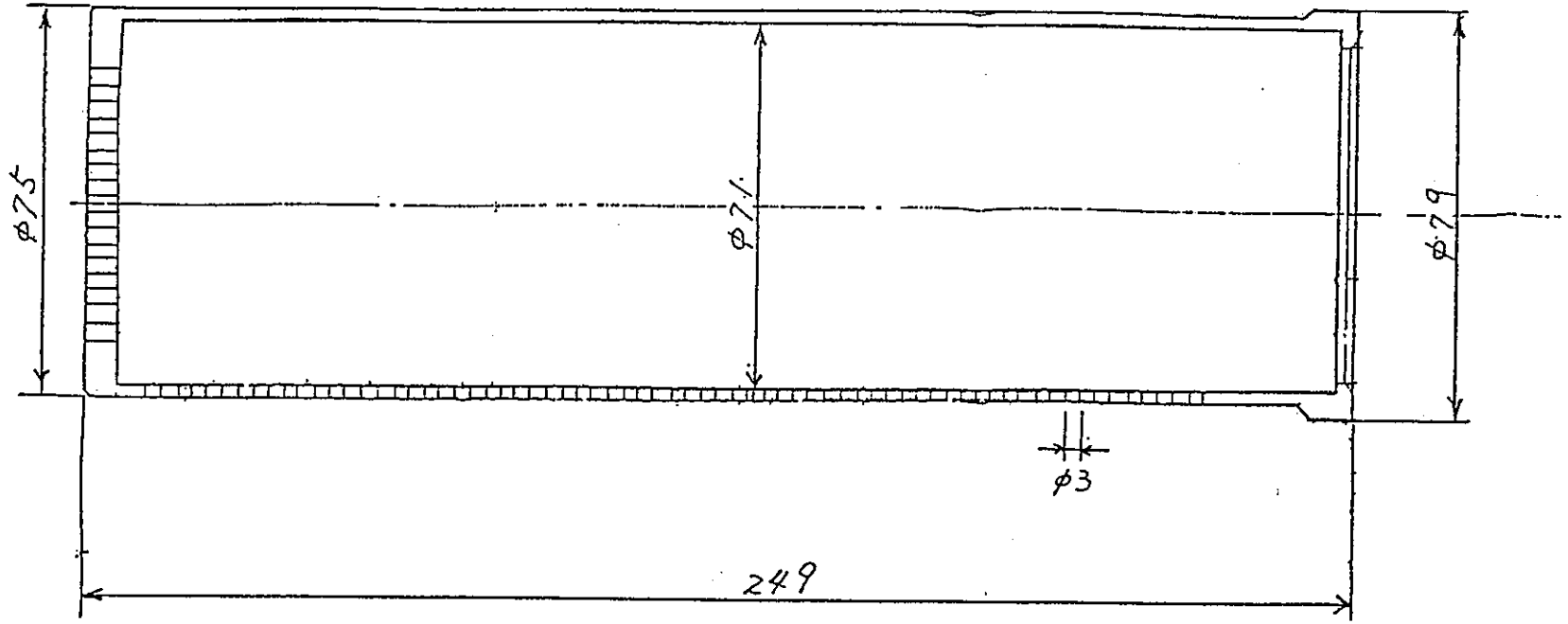


図 3. 3 バスケット

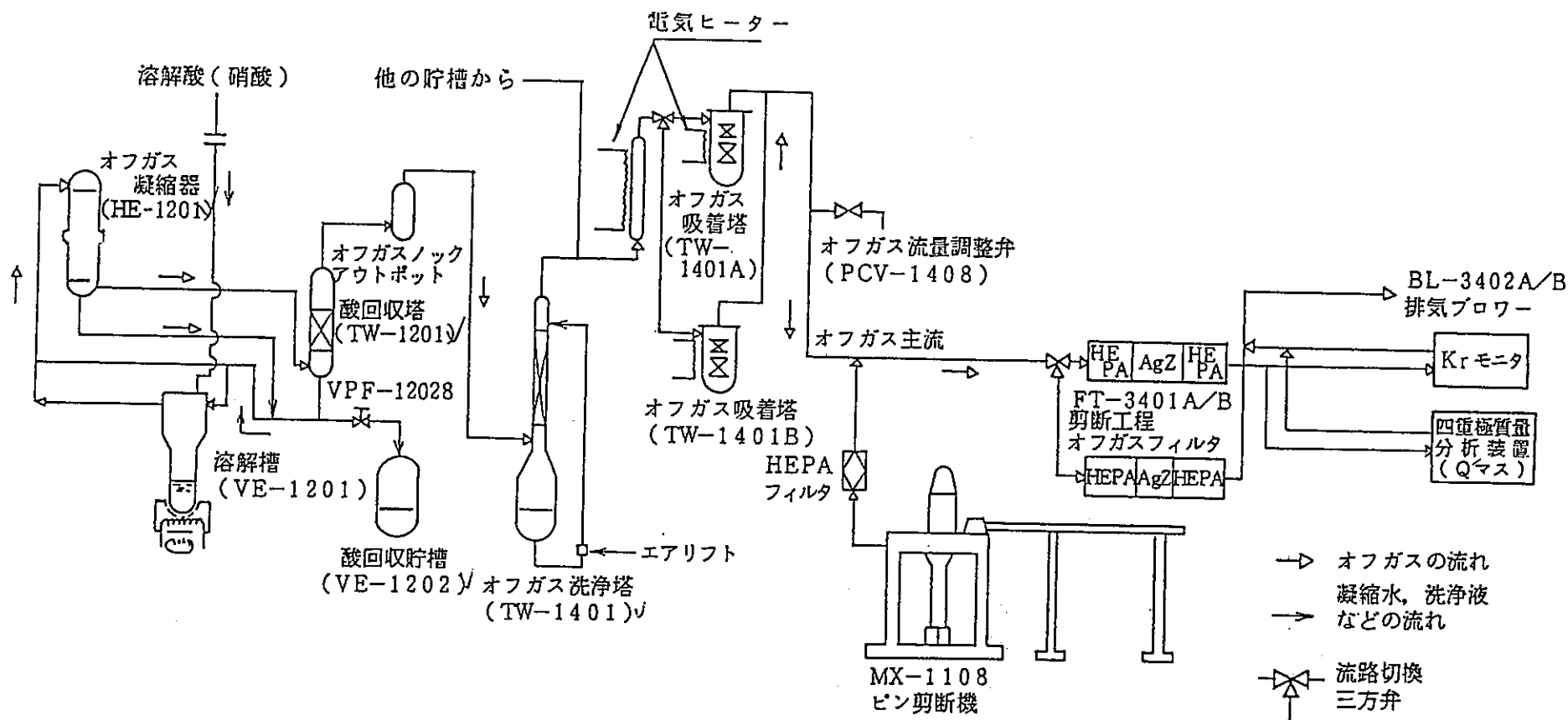


図 3. 4 オフガス処理系統図

表 3. 1 (1) ベンチスケール溶解試験条件

		ランNO	1	2	3	4-1	4-2	4-3	4-4
		燃料	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I
溶 質	U (g) 0. (実)		535.2	530.4	1054.4	263.1	263.1	262.1	264.2
	Pu (g) 0. (実)		44.7	44.8	87.9	21.9	21.9	21.8	22
解 液	初期 (M)		3.6	3.5	3.6	3.36	3.10	3.35	2.36
	終期 (M)		1.9	1.6	2.9	2.02	1.60	1.97	1.68
条 件	初期 (ℓ)		3.2	3	3.76	2.03	2	2.03	4.09
	終期 (ℓ)		2.2	2.9	2.69	1.60	1.56	1.59	3.58
溶解温度 (°C)			98	96	101	90	80	70	90
溶解槽内平均圧力			-140	-185	-192	-254	-232	-222	-235
H 濃. 度	初期 (g/ℓ)		0	0	0	0	0	0	0
	終期 (g/ℓ)		260.2	186.8	414.5	165.4	165.3	166.3	79.0

表 3. 1 (2) ベンチスケール溶解試験条件

	ランNO		5		6	7	8	9	10	11	
	燃料		MK-I		MK-II	MK-II	MK-II	DFR	MK-II	phenix	
溶 解 条 件			コ	ア フ ラ ン ク ット							
		U (g) 0. (実)	395.3	660.5	190.4	190.4	173.8	129.93	154.0	242	
		Pu (g) 0. (実)	84.3	3.8	70.9	70.9	64.3	30.48	57	90.8	
		硝 酸 濃 度	初期 (M)	3.3	3.3	3.5	3.48	3.4	3.3	3.5	3.0
			終期 (M)	1.8	1.8	2.7	2.61	2.71	2.9	2.7	2.0
		液 量	初期 (ℓ)	3.7	4.6	2.8	2.7	2.5	2.5	3.5	2.5
			終期 (ℓ)	2.7	4.2	2.3	2.2	2.0	1.96	3.1	1.8
		溶解温度 (℃)	90		97	90	97	98	97	96	
		溶解槽内圧力 (mmAq)	-249.8		-240.45	-267.56	-166.2	-184.33	-230.88	-207.35	
		H 濃 度	初期 (g/ℓ)	0		0	0	0	0	69.2	0
			終期 (g/ℓ)	152.5	151.5	103.3	99.4	100.4	73.0	56.6	78.9

表 3. 1 (3) ベンチスケール溶解試験条件

		ランNO	12	13	14			
		燃料	phenix	C型特燃	MK-II			
溶解 量	U (g) 0.(実)		390.8	242.6	169.70			
	Pu (g) 0.(実)		69.2	94.2	68.01			
溶解 時間	初期 (M)		4.27	4.4	3.5			
	終期 (M)		5.0	2.5	2.7			
液 量	初期 (ℓ)		3.2	2.0	2.8			
	終期 (ℓ)		1.7	1.6	2.0			
		溶解温度 (℃)	107	104	97.0			
		溶解槽内圧力 (mmAq)	-237	-222	-203			
H 濃 度	初期 (g/ℓ)		0	0	0			
	終期 (g/ℓ)		262.3	195.3	212.83			

	ランNO	1	
	燃料	MK-I	
製造条件	Pu 濃化度 (%)	18	
	機械混合時間 (hr)	4~5	
	成型圧 (t/cm ²)	3	
	焼結温度 (°C)	1800	
	焼結時間 (hr)	2~3	
	密度 (%TD)	93.5~93.7	
	固容度 (%)	>95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	4.400	
	平均線出力 (W/cm)	250	
	冷却日数 (日)	430	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	44.3	0.4
	U (g)	204.0	331.2
溶解条件	蒸留量	U (g) 0. (完)	535.2
		Pu (g) 0. (完)	44.7
	硝酸濃度	初期 (M)	3.6
		終期 (M)	1.9
	液量	初期 (L)	3.2
		終期 (L)	2.2
	溶解温度 (°C)	98	
	溶解槽内平均圧力	-140	
濃度	初期 (g/L)	0	
	終期 (g/L)	260.2	

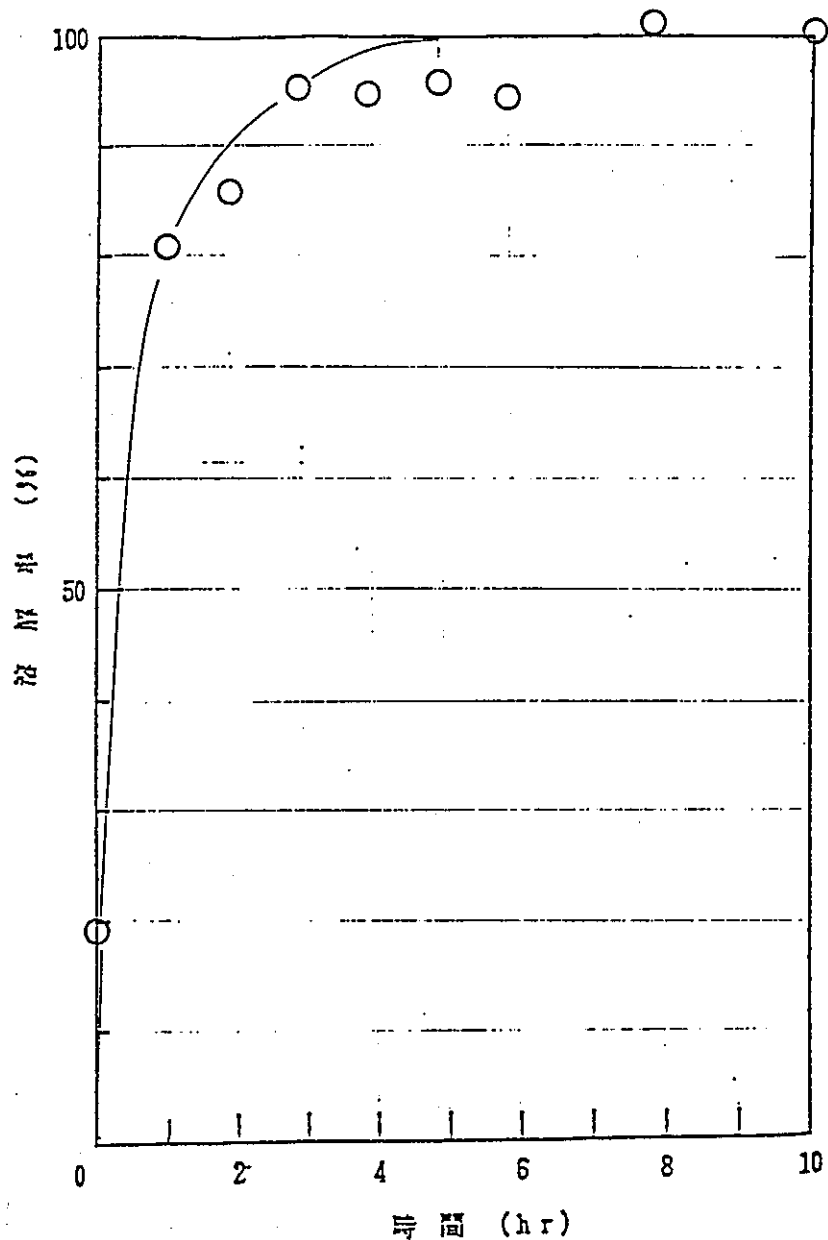


図 3.5 溶解特性曲線

	ランNO	2	
	燃料	MK-I	
製 造 条 件	Pu富化度 (%)	18	
	機械混合時間 (hr)	6	
	成型圧 (t/cm ²)	2.2	
	焼結温度 (°C)	1600	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	93.9	
	固容度 (%)	>95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	32,000	
	平均線出力 (W/cm)	250	
	冷却日数 (日)	654	
照射後の 燃焼組成		C	B
	Pu (g)	42.9	1.9
	U (g)	199.6	330.8
溶 解 条 件	装荷量	U (g) 0. (実)	530.4
		Pu (g) 0. (実)	44.8
	硝 酸 濃 度	初期 (M)	3.5
		終期 (M)	1.6
	液 量	初期 (ℓ)	3
		終期 (ℓ)	2.9
		溶解温度 (°C)	96
		溶解槽内平均圧力	-185
	H 濃 度 (%)	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	186.8

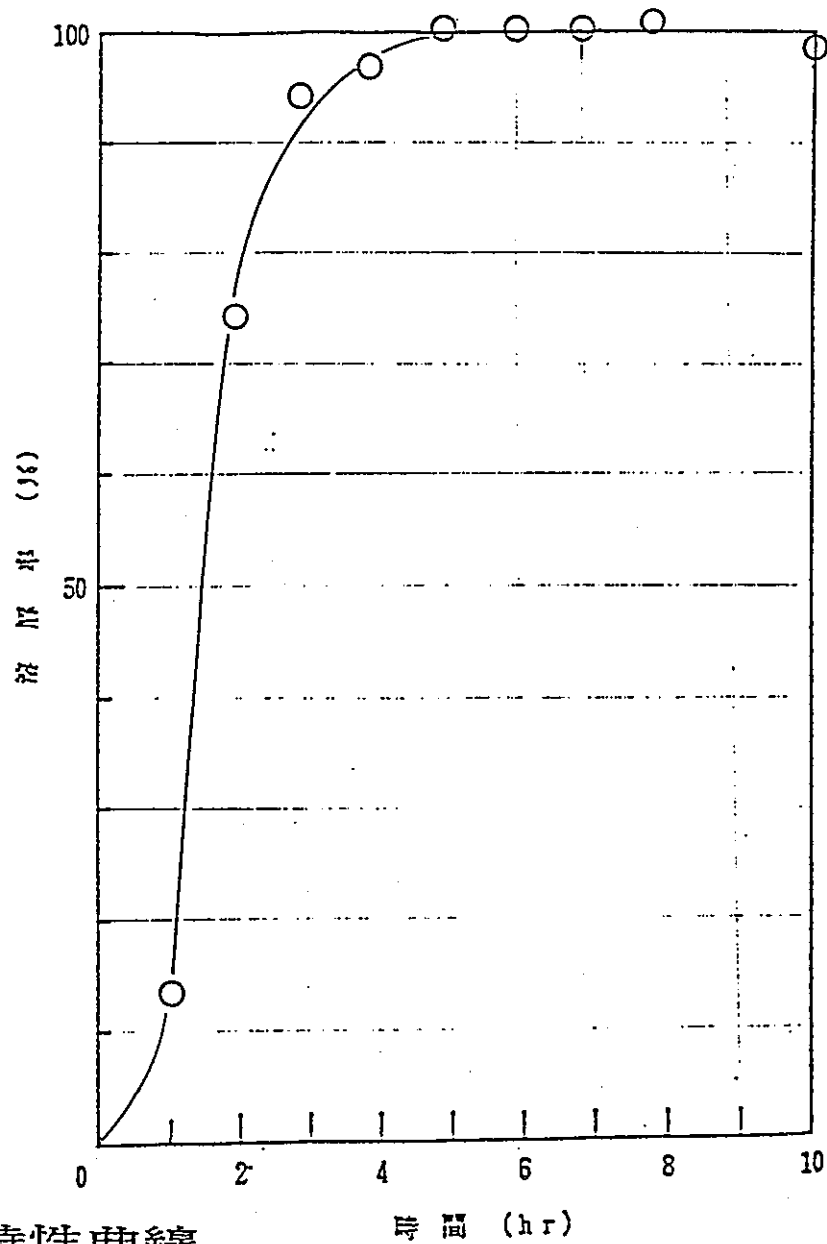


図 3. 6 溶解特性曲線

	ランNO	3		
	燃料	MK-1		
製法条件	Pu富化度 (%)	18		
	機械混合時間 (hr)	7		
	成型圧 (t/cm ²)	4.3		
	焼結温度 (°C)	1660		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	93.97		
	固容度 (%)	>95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		
	冷却日数 (日)	648		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	84.1	3.8	
	U (g)	394.7	659.7	
溶解条件	蒸留量	U (g) 0. (実)	1054.4	
		Pu (g) 0. (実)	87.9	
	硝酸度	初期 (M)	3.6	
		終期 (M)	2.9	
	液量	初期 (L)	3.76	
		終期 (L)	2.69	
	溶解温度 (°C)	101		
	溶解槽内平均圧力	-192		
	濃度	初期 (g/L)	0	
		終期 (g/L)	414.5	

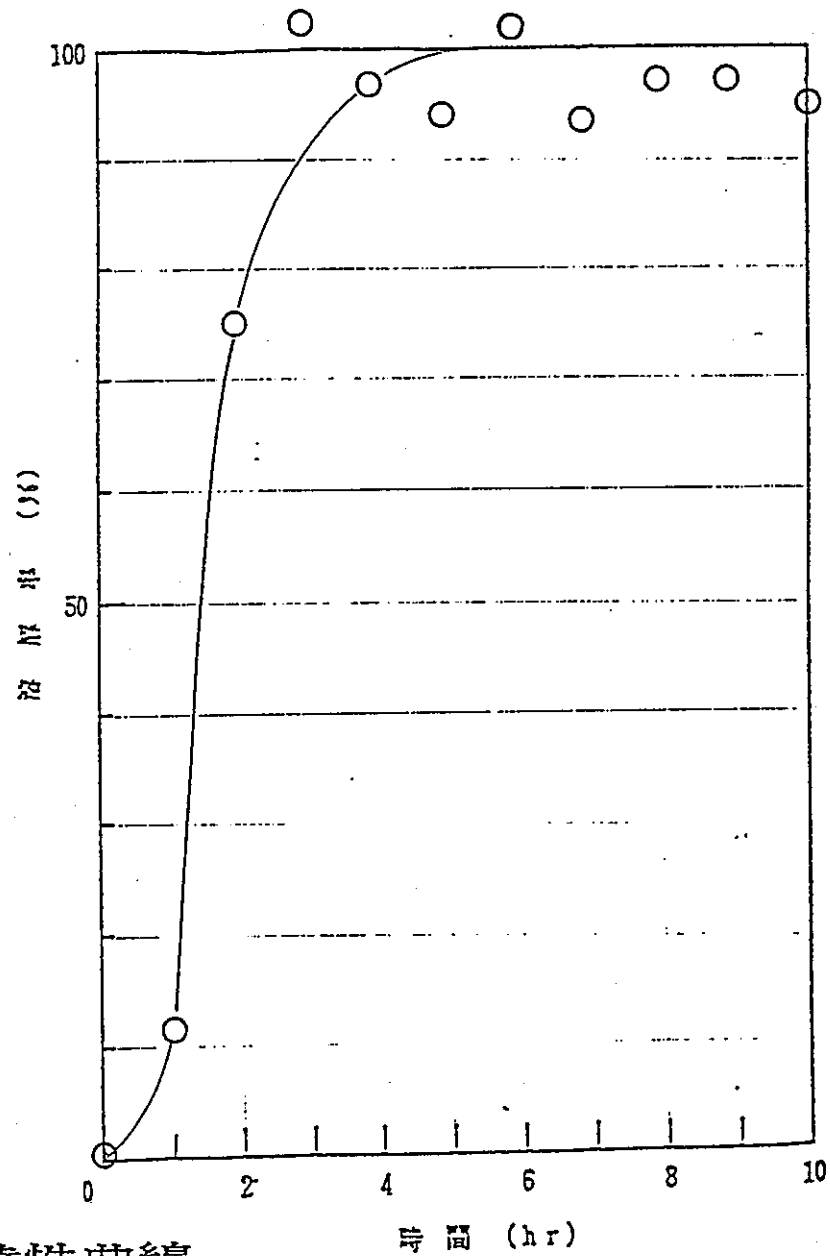


図 3. 7 溶解特性曲線

	ランNO	4-1		
	燃料	MK-I		
製造条件	Pu 富化度 (%)	18		
	機械混合時間 (hr)	7 ~ 14		
	成型圧 (t/cm ²)	3.7 ~ 4.0		
	焼結温度 (°C)	1700		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	93.2 ~ 93.7		
	固容度 (%)	> 95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		
	冷却日数 (日)	830		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	83.9	3.8	
	U (g)	394.0	658.7	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	263.1	
		Pu (g) 0. (実)	21.9	
	硝濃度	初期 (M)	3.36	
		終期 (M)	2.02	
	液量	初期 (ℓ)	2.03	
		終期 (ℓ)	1.60	
	溶解温度 (°C)	90		
	溶解槽内平均圧力	-254		
	濃度	初期 (g/ℓ)	0	
		終期 (g/ℓ)	165.4	

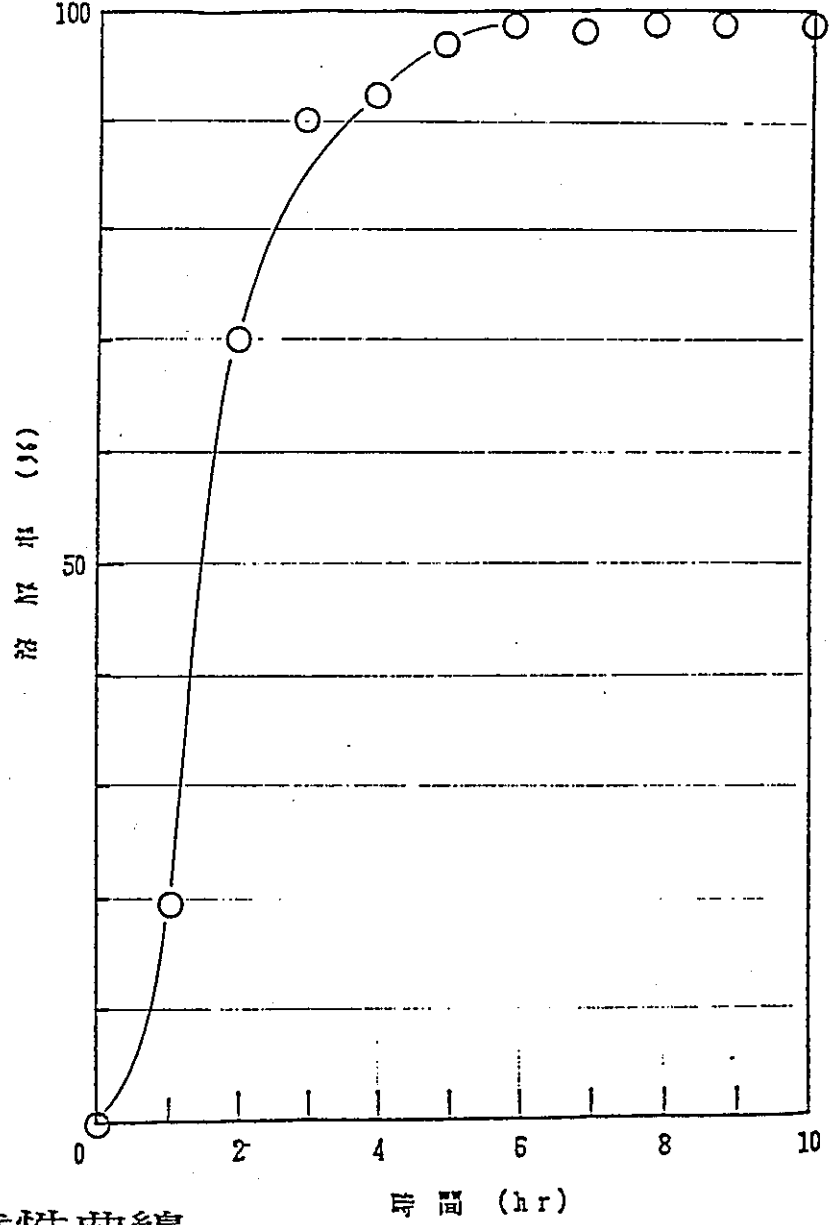


図 3. 8 溶解特性曲線

	ランNO	4-2		
	燃料	MK-I		
製造条件	Pu富化度 (%)	18		
	機械混合時間 (hr)	7 ~ 14		
	成型圧 (t/cm ²)	3.7 ~ 4.0		
	焼結温度 (°C)	1700		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	93.2 ~ 93.7		
	固容度 (%)	>95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		
	冷却日数 (日)	830		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	83.9	3.8	
	U (g)	394.0	658.7	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	263.1	
		Pu (g) 0. (実)	21.9	
	硝酸濃度	初期 (M)	3.10	
		終期 (M)	1.60	
	液量	初期 (ℓ)	2	
		終期 (ℓ)	1.56	
	溶解温度 (°C)	80		
	溶解槽内平均圧力	-232		
	濃度	初期 (g/ℓ)	0	
		終期 (g/ℓ)	165.3	

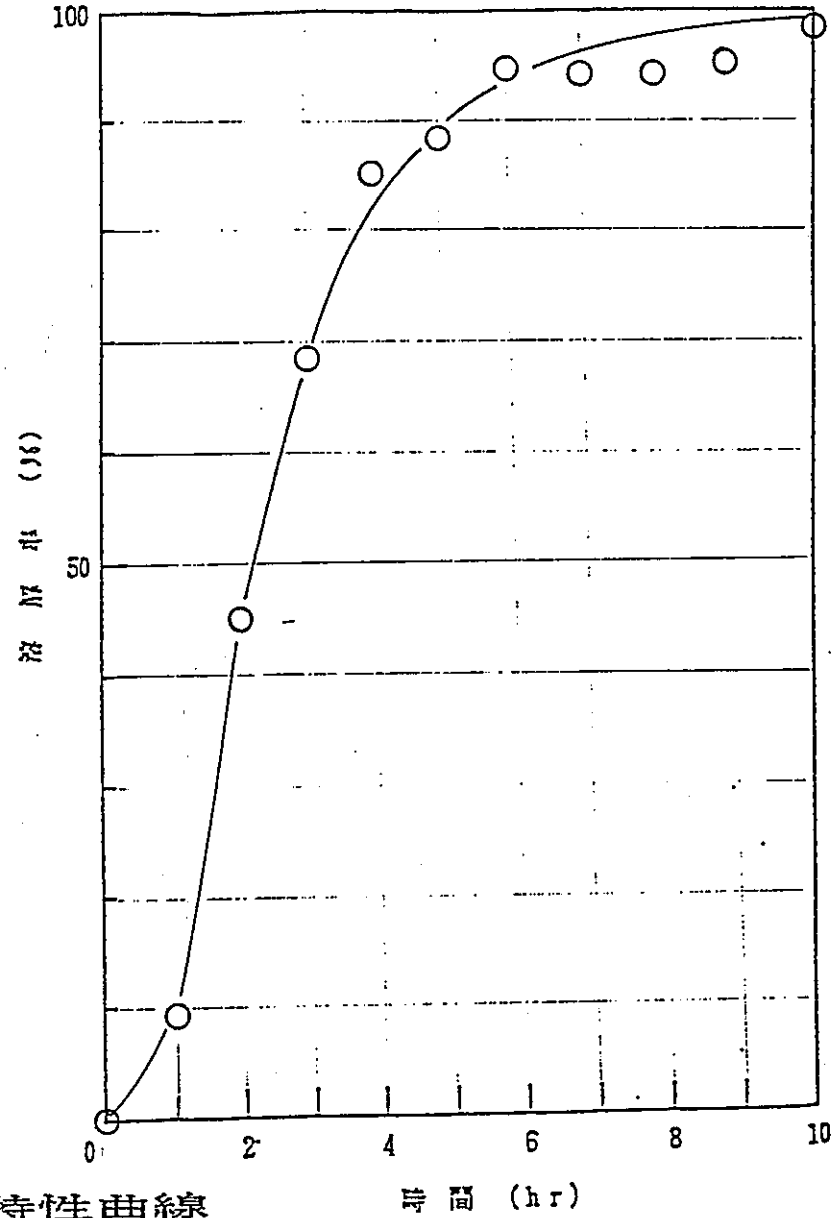


図 3.9 溶解特性曲線

	ランNO	4-3		
	燃料	MK-I		
製造条件	Pu富化度 (%)	18		
	機械混合時間 (hr)	7~14		
	成型圧 (t/cm ²)	3.7~4.0		
	焼結温度 (°C)	1700		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	93.2~93.7		
	固容度 (%)	>95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		
	冷却日数 (日)	830		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	83.9	3.8	
	U (g)	394.0	658.7	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	262.1	
		Pu (g) 0. (実)	21.8	
	硝酸濃度	初期 (M)	3.35	
		終期 (M)	1.97	
	液量	初期 (ℓ)	2.03	
		終期 (ℓ)	1.59	
	溶解温度 (°C)	70		
	溶解槽内平均圧力	-222		
	H濃度	初期 (g/ℓ)	0	
		終期 (g/ℓ)	166.3	

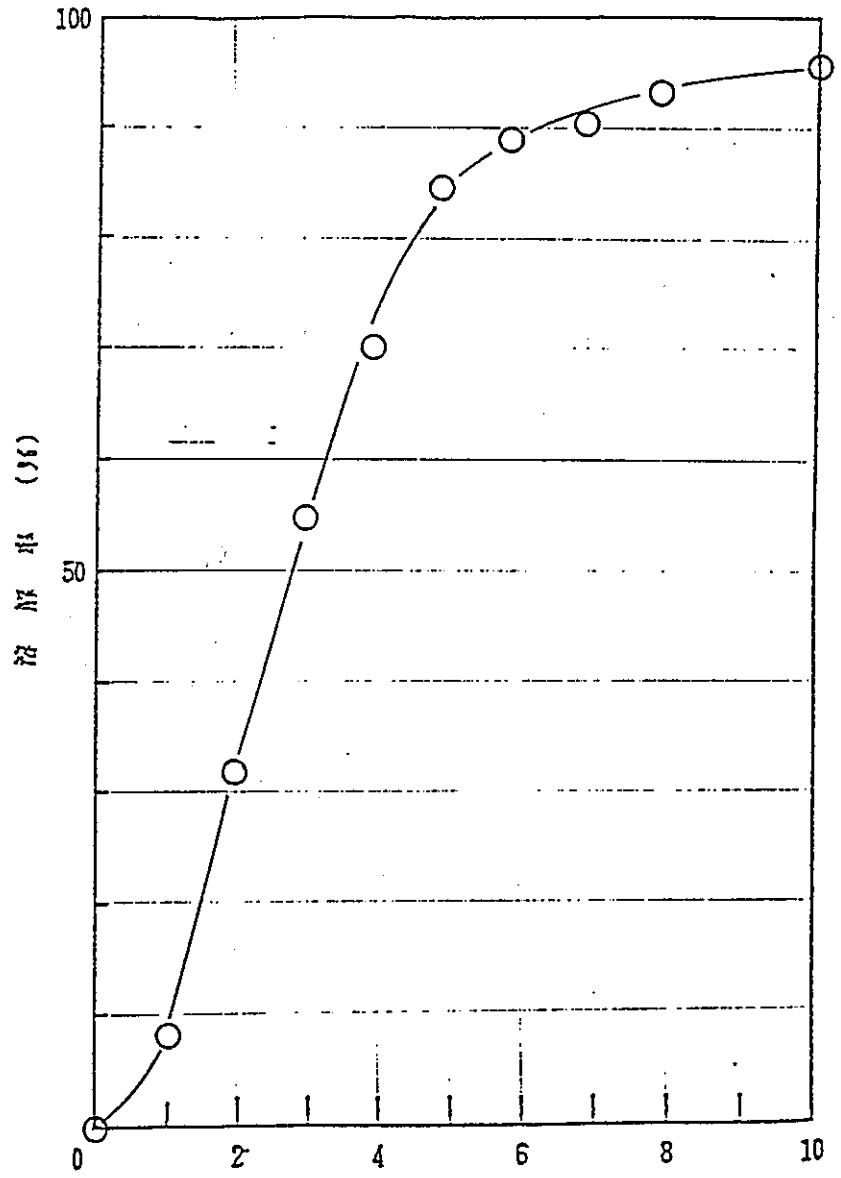


図 3. 10 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	4-4	
	燃料	MK-I	
製造条件	Pu 富化度 (%)	18	
	機械混合時間 (hr)	7 ~ 14	
	成型圧 (t/cm ²)	3.7 ~ 4.0	
	焼結温度 (°C)	1700	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	93.2 ~ 93.7	
	固容度 (%)	> 95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100	
	平均線出力 (W/cm)	250	
	冷却日数 (日)	830	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	83.9	3.8
	U (g)	394.0	658.7
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	264.2
		Pu (g) 0. (実)	22
	硝酸濃度	初期 (M)	2.36
		終期 (M)	1.68
	液量	初期 (ℓ)	4.09
		終期 (ℓ)	3.58
	溶解温度 (°C)		90
	溶解槽内平均圧力		-235
	H 濃度	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	79.0

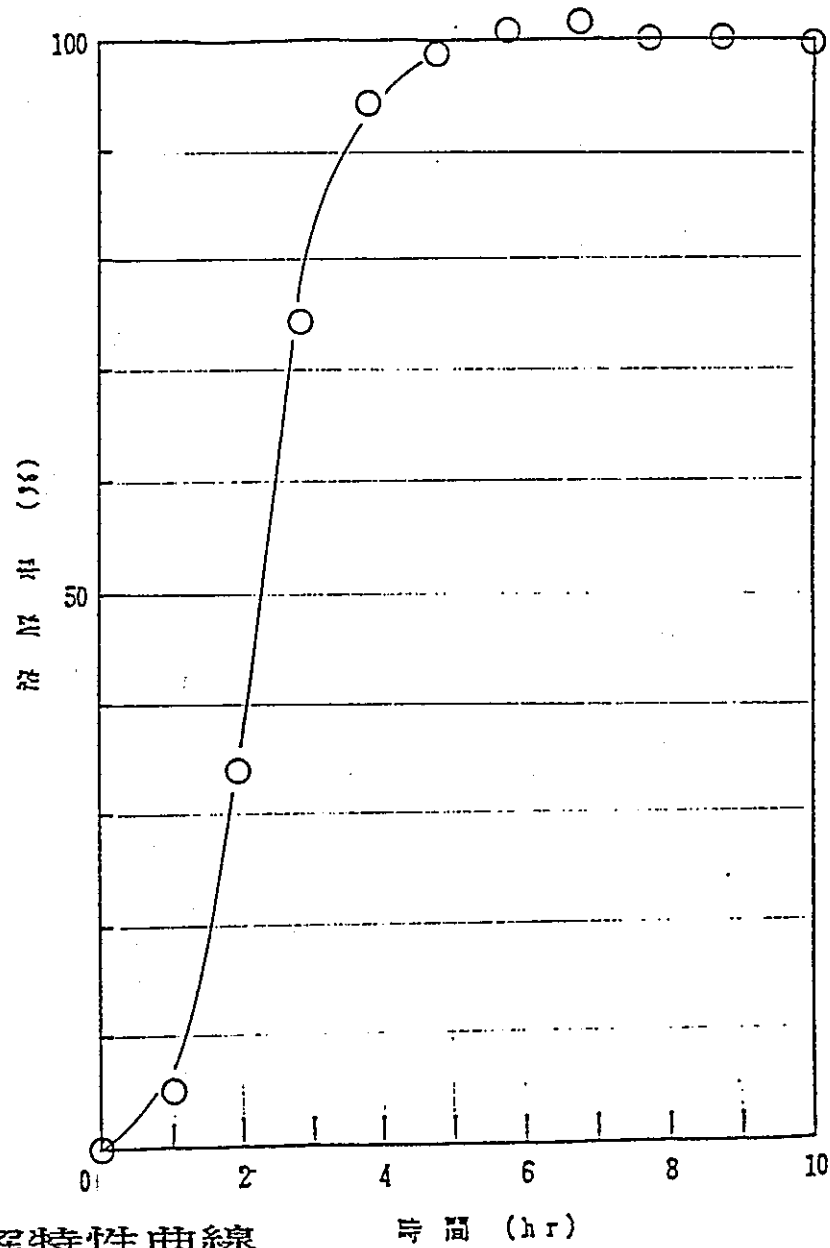


図 3. 1. 1 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	5		
	燃料	MK-1		
製造条件	Pu富化度 (%)	18		
	燃焼混合時間 (hr)	7 ~ 14		
	成型圧 (t/cm)	3.7 ~ 4.0		
	焼結温度 (°C)	1700		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	93.2 ~ 93.7		
	固容度 (%)	> 95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		
	冷却日数 (日)	1000		
照射後の燃料組成		コ	ア ファンク	
	Pu (g)	84.3	3.8	
	U (g)	395.3	660.5	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	395.3	660.5
		Pu (g) 0. (実)	84.3	3.8
	研漉度	初期 (M)	3.3	3.3
		終期 (M)	1.8	1.8
	液量	初期 (ℓ)	3.7	4.6
		終期 (ℓ)	2.7	4.2
		溶解温度 (°C)	90	
		溶解槽内平均圧力	-249.8	
濃度	初期 (g/ℓ)	0		
	終期 (g/ℓ)	152.5	151.5	

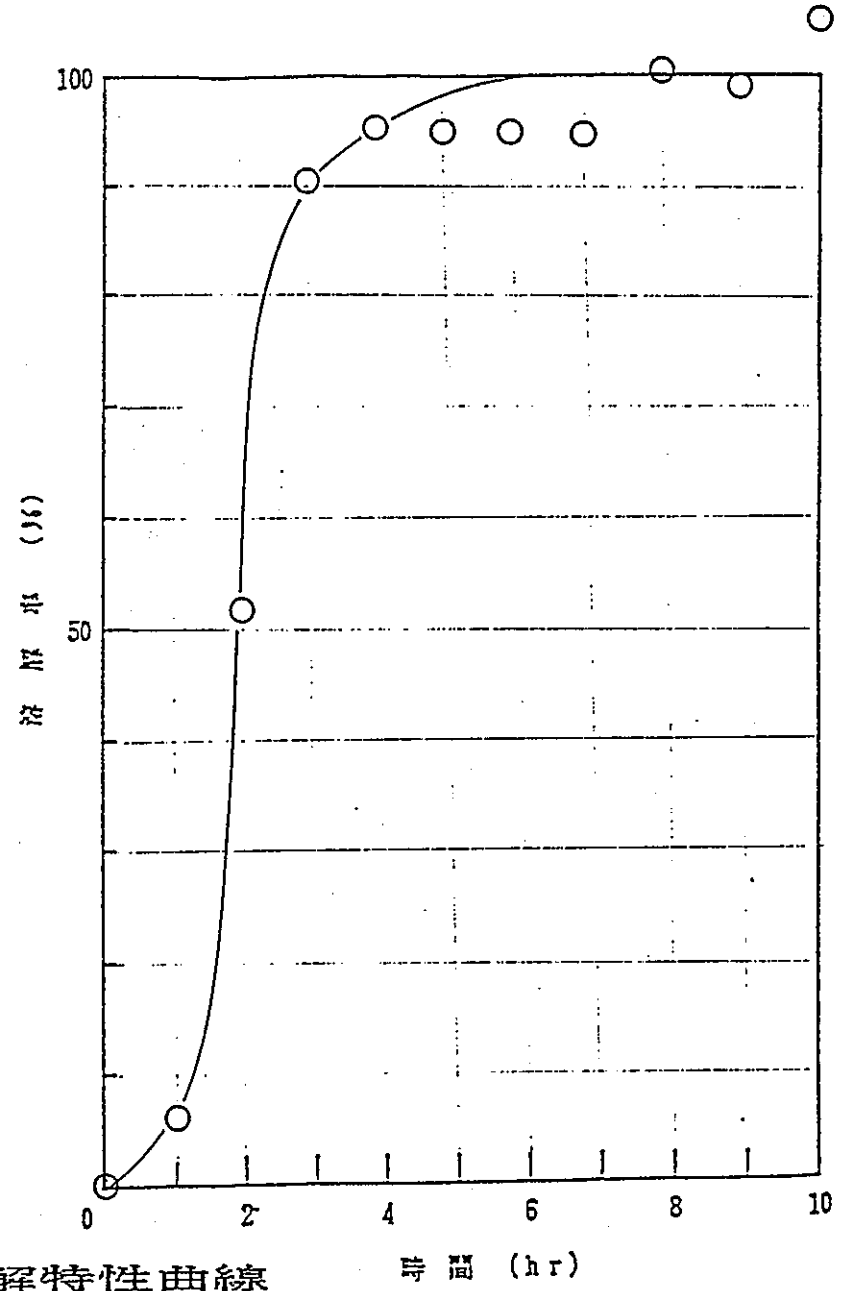


図 3. 1. 2 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	6	
	燃料	MK-II	
製造条件	Pu 富化度 (%)	29	
	機械混合時間 (hr)	6	
	成型圧 (t/cm ²)	4.2	
	焼結温度 (°C)	1700	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	92.1~93.6	
	固容度 (%)	95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13.800	
	平均線出力 (W/cm)	360	
	冷却日数 (日)	408	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	70.9	-
	U (g)	190.4	-
溶解条件	溶解時間	U (g) 0. (実)	190.4
		Pu (g) 0. (実)	70.9
	溶解度	初期 (M)	3.5
		終期 (M)	2.7
	液量	初期 (L)	2.8
		終期 (L)	2.3
	溶解温度 (°C)		97
	溶解槽内平均圧力		-240.45
	濃度	初期 (g/L)	0
		終期 (g/L)	103.3

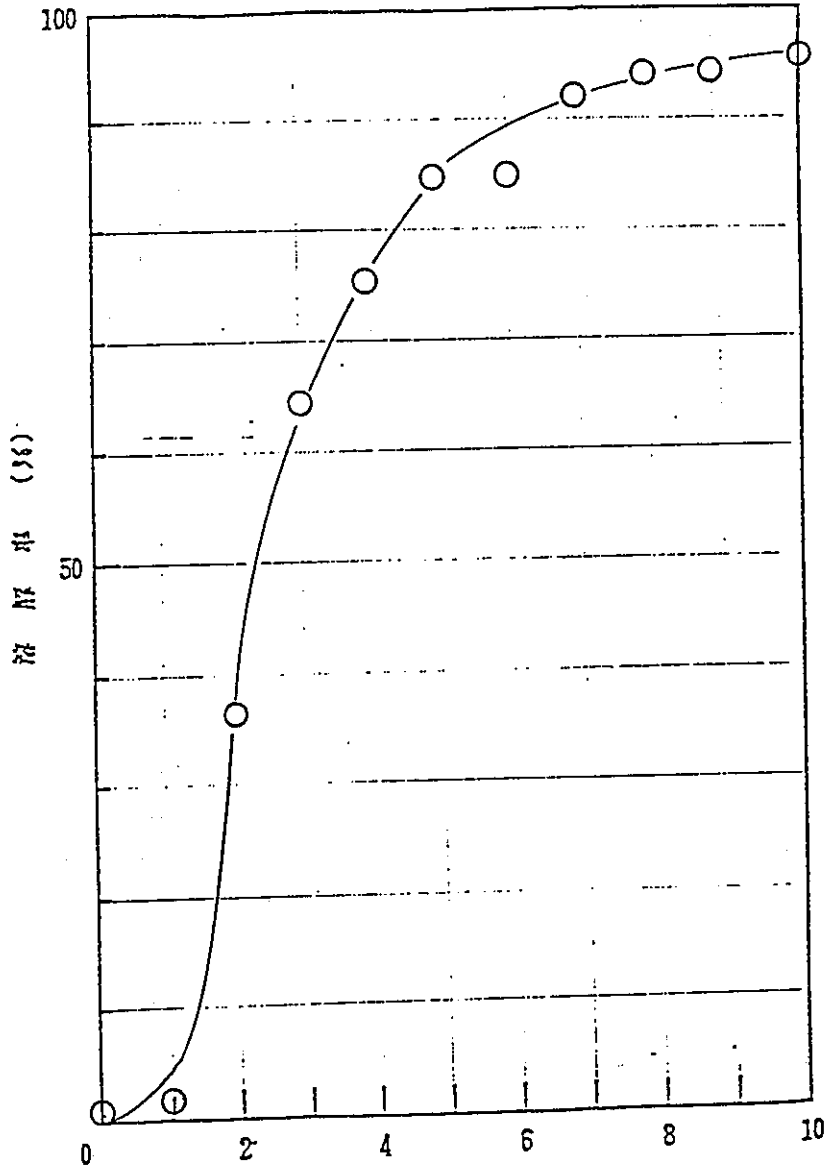


図 3. 1 3 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	7	
	燃料	MK-II	
製造条件	Pu富化度 (%)	29	
	機械混合時間 (hr)	6	
	成型圧 (t/cm)	4.2	
	焼結温度 (°C)	1700	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	92.1~93.6	
	固容度 (%)	95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13.800	
	平均線出力 (W/cm)	360	
	冷却日数 (日)	495	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	70.9	-
	U (g)	178.9	-
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	190.4
		Pu (g) 0. (実)	70.9
	補遺液	初期 (M)	3.48
		終期 (M)	2.61
	液量	初期 (ℓ)	2.7
		終期 (ℓ)	2.2
		溶解温度 (°C)	90
		溶解槽内平均圧力	-267.56
	濃度	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	99.4

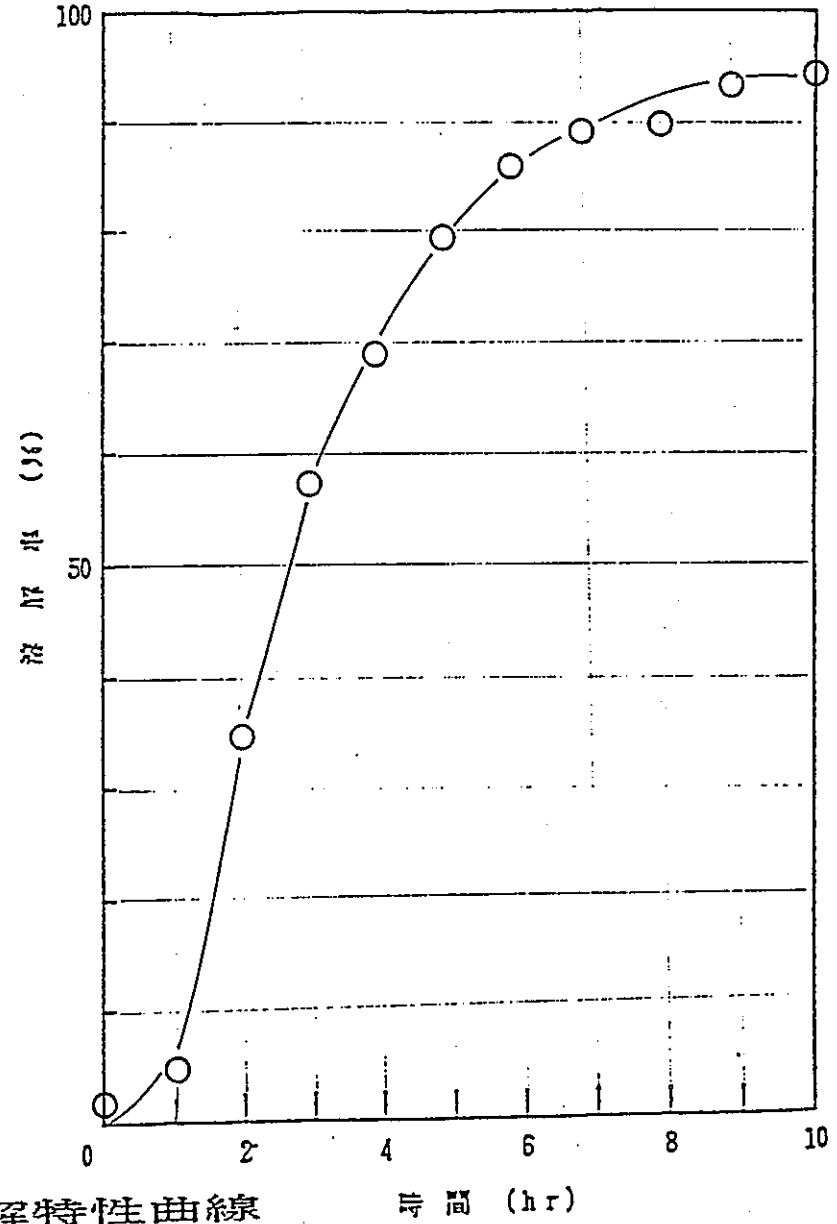


図 3. 1 4 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	8	
	燃料	MK-II	
製造条件	Pu富化度 (%)	29	
	機械混合時間 (hr)	4.5~5.0	
	成型圧 (t/cm ²)	3.9~4.5	
	焼結温度 (°C)	1620~1680	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	92.5~92.8	
	固容度 (%)	>95	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	31,700	
	平均線出力 (W/cm)	360	
	冷却日数 (日)	395	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	68.7	-
	U (g)	187.4	-
溶解条件	溶解量	U (g) 0. (実)	173.8
		Pu (g) 0. (実)	64.3
	硝濃度	初期 (M)	3.4
		終期 (M)	2.71
	液量	初期 (ℓ)	2.5
		終期 (ℓ)	2.0
	溶解温度 (°C)		97
	溶解槽内平均圧力		-166.2
	濃度	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	100.4

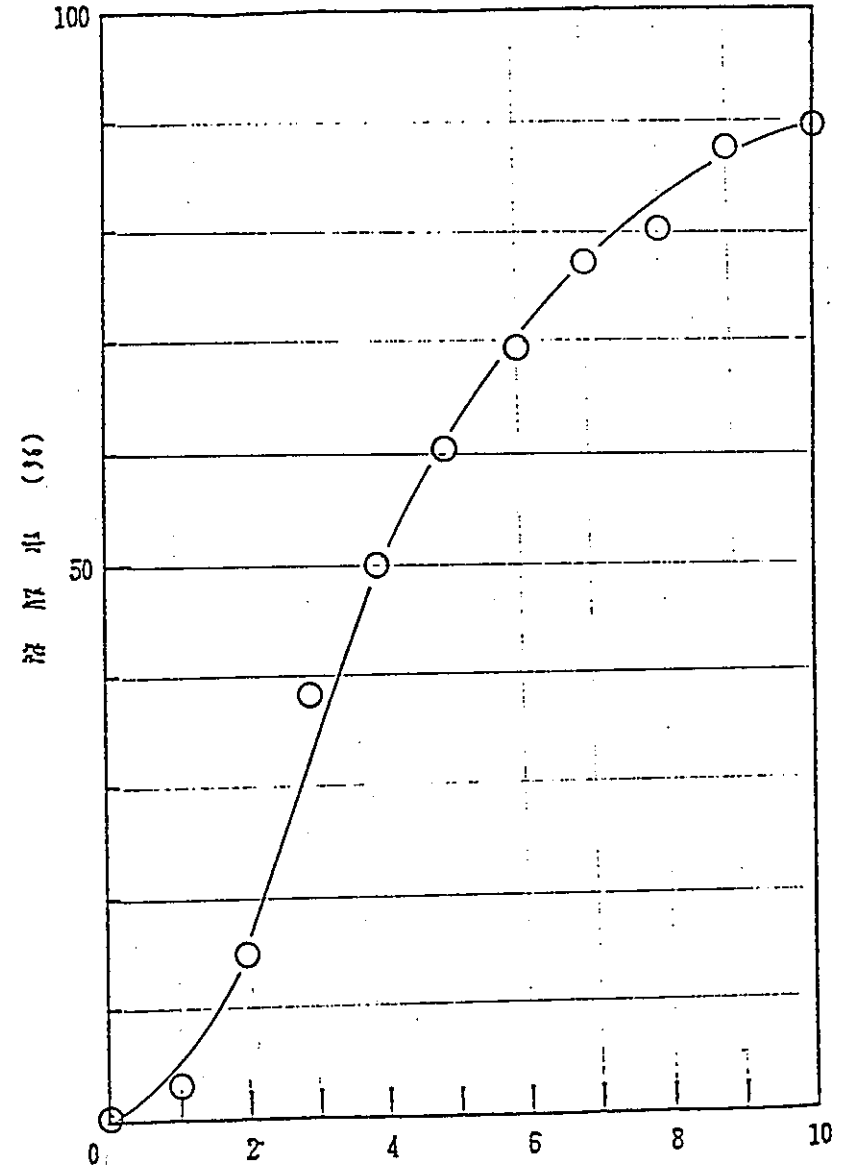


図 3. 1 5 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	9		
	燃料	DFR		
製造条件	Pu富化度 (%)	20		
	機械混合時間 (hr)	—		
	成型圧 (t/cm ²)	—		
	焼結温度 (°C)	1700		
	焼結時間 (hr)	—		
	密度 (%TD)	84~94		
	固容度 (%)	—		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	52.600		
	平均線出力 (W/cm)	410		
	冷却日数 (日)	4770		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	32.4	—	
	U (g)	137.54	—	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	129.93	
		Pu (g) 0. (実)	30.48	
	硝酸濃度	初期 (M)	3.3	
		終期 (M)	2.9	
	液量	初期 (ℓ)	2.5	
		終期 (ℓ)	1.96	
	溶解温度 (°C)	98.0		
	溶解槽内平均圧力	-184.33		
	H濃度	初期 (g/ℓ)		
		終期 (g/ℓ)		

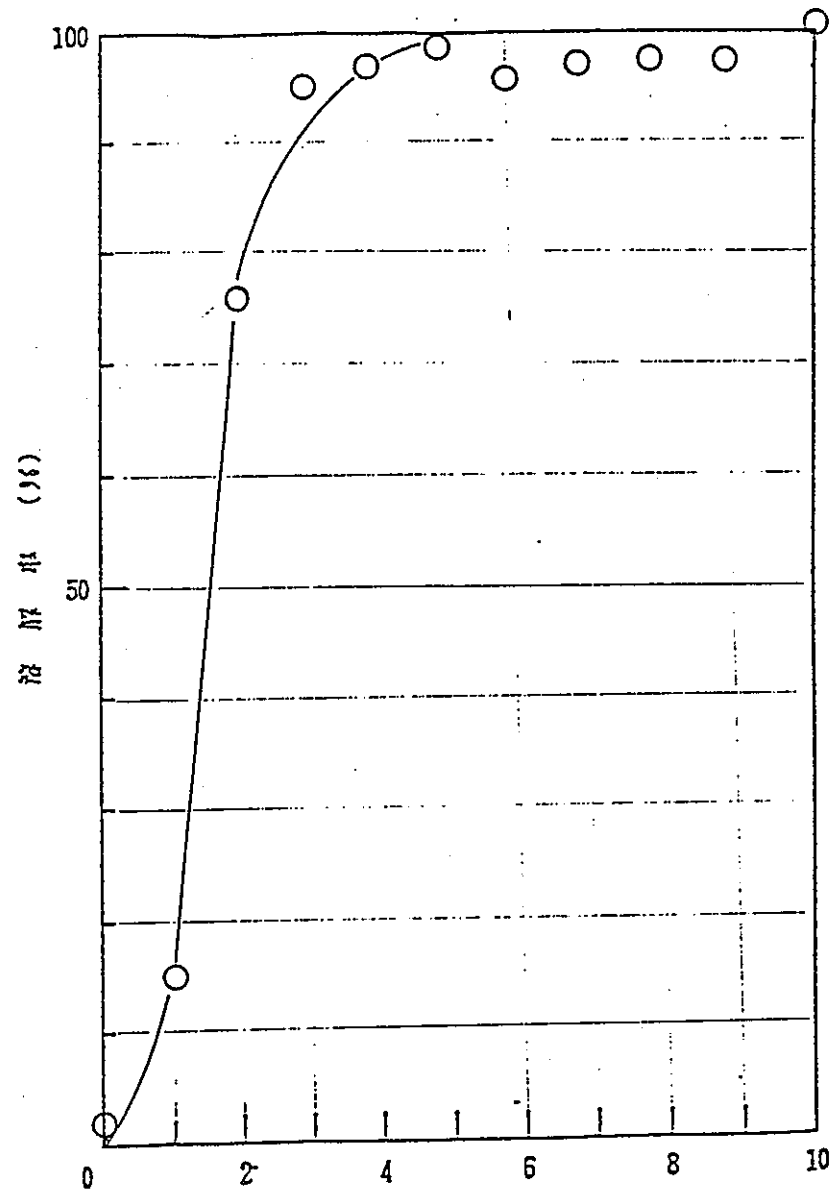


図 3. 1 6 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	10		
	燃料	MK-II		
製造条件	Pu 富化度 (%)	29		
	図様混合時間 (hr)	4.5~5.0		
	成型圧 (t/cm)	3.9~4.5		
	焼結温度 (°C)	1620~1680		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	92.5~92.8		
	固容度 (%)	>95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	31.700		
	平均線出力 (W/cm)	360		
	冷却日数 (日)	674		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	68.6	-	
	U (g)	187.2	-	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	154.0	
		Pu (g) 0. (実)	57	
	硝濃度	初期 (M)	3.5	
		終期 (M)	2.7	
	液量	初期 (ℓ)	3.5	
		終期 (ℓ)	3.1	
	溶解温度 (°C)	97		
	溶解槽内平均圧力	-230.88		
	濃度	初期 (g/ℓ)	69.2	
		終期 (g/ℓ)	55.6	

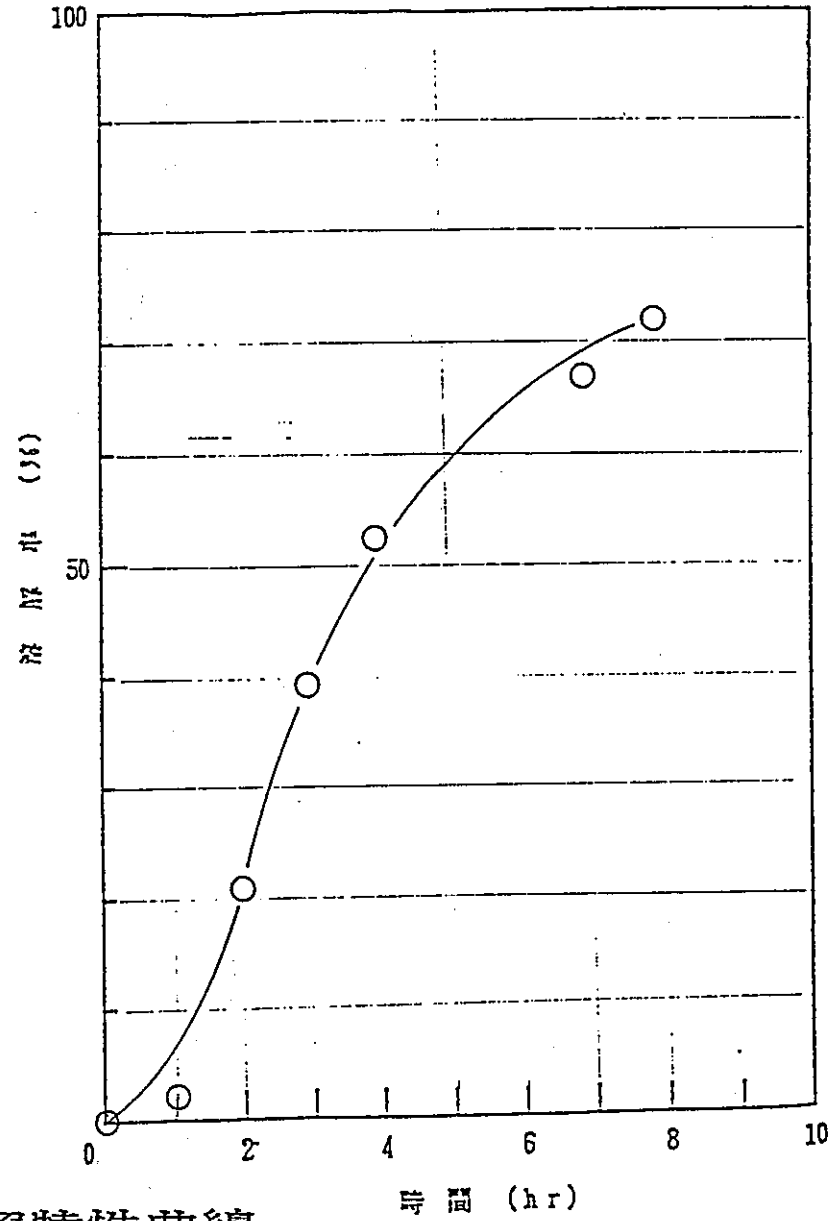


図 3. 1 7 溶解特性曲線

	ランNO	11		
	燃料	Phenix		
製 造 条 件	Pu 富化度 (%)	30		
	機械混合時間 (hr)	10		
	成型圧 (t/cm ²)	1.5 ~ 3.5		
	焼結温度 (°C)	1650		
	焼結時間 (hr)	2		
	密度 (%TD)	85.93		
	固容度 (%)	-		
照射 条件	平均燃焼度 (MWD/T)	87.847		
	平均線出力 (W/cm)	440		
	冷却日数 (日)	927		
照射 後の 燃料 組成		C	B	
	Pu (g)	98.8	-	
	U (g)	263.3	-	
溶 解 条 件	装 荷 量	U (g) 0. (完)	242	
		Pu (g) 0. (完)	90.8	
	確 率 度	初期 (M)	3.0	
		終期 (M)	2.0	
	液 量	初期 (ℓ)	2.5	
		終期 (ℓ)	1.8	
		溶解温度 (°C)	96	
		溶解槽内平均圧力	-207.35	
	濃 度	初期 (g/ℓ)	0	
		終期 (g/ℓ)	78.9	

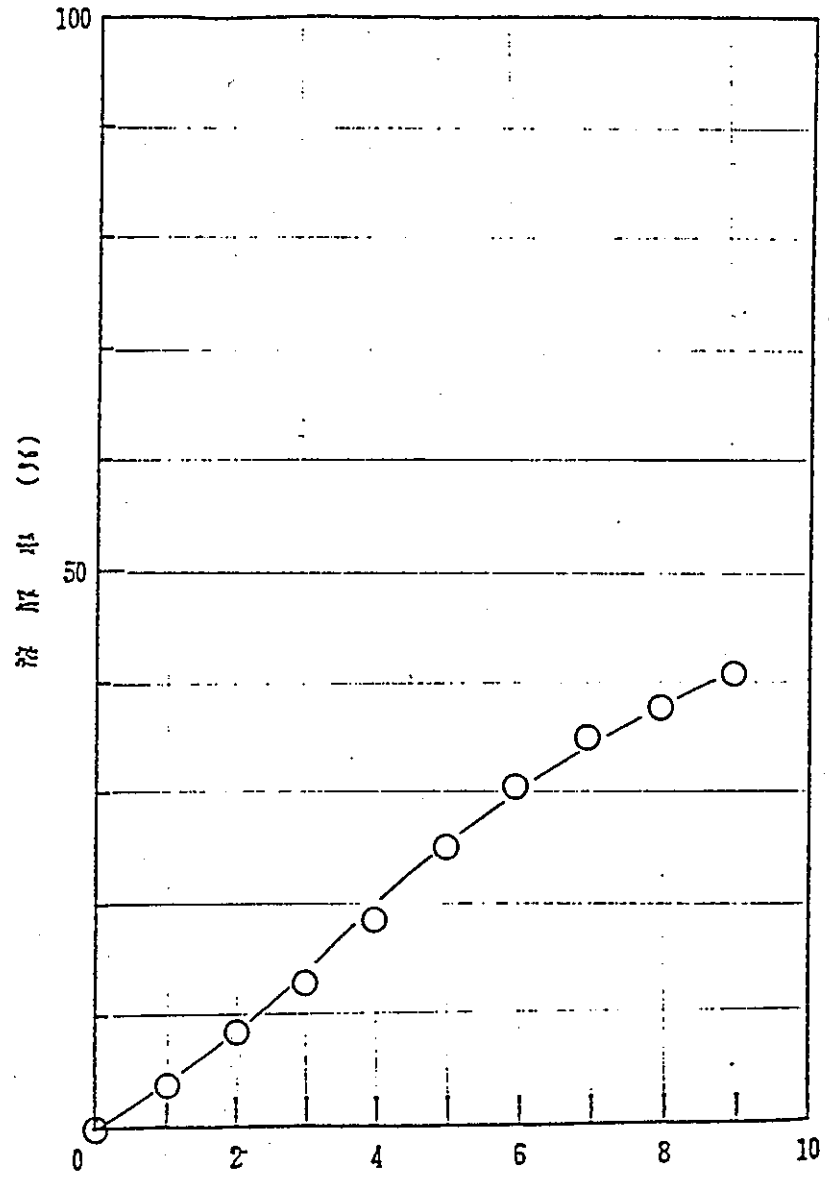


図 3. 1 8 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	12	
	燃料	Phenix	
製造条件	Pu富化度 (%)	30	
	機械混合時間 (hr)	10	
	成型圧 (t/cm ²)	1.5 ~ 3.5	
	焼結温度 (°C)	1650	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	85.93	
	固容度 (%)	>97	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	94.000	
	平均線出力 (W/cm)	440	
	冷却日数 (日)	1488	
照射後の核種組成		C	B
	Pu (g)	113.7	-
	U (g)	271.0	181.9
溶解条件	遊離液	U (g) 0. (完)	390.8
		Pu (g) 0. (完)	69.2
	硝酸濃度	初期 (M)	4.27
		終期 (M)	5.0
	液量	初期 (ℓ)	3.2
		終期 (ℓ)	1.7
		溶解温度 (°C)	107
		溶解槽内平均圧力	-237
	濃度	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	262.3

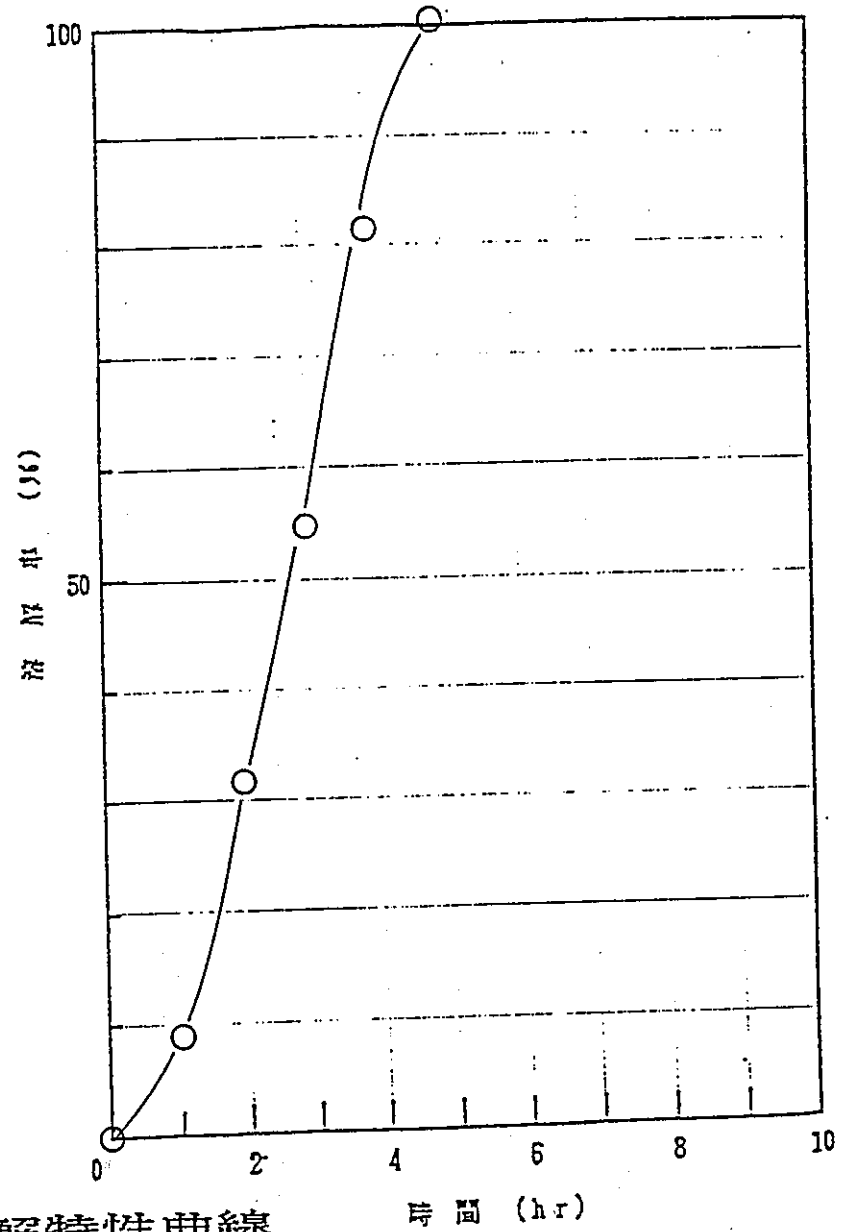


図 3. 1 9 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	13	
	燃料	C型特燃	
製造条件	Pu富化度 (%)	30	
	機械混合時間 (hr)	6	
	成型圧 (t/cm ²)	2~3	
	焼結温度 (°C)	1610	
	焼結時間 (hr)	2	
	密度 (%TD)	85	
	固容度 (%)	90	
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	54.100	
	平均線出力 (W/cm)	360	
	冷却日数 (日)	736	
照射後の燃料組成		C	B
	Pu (g)	112.9	-
	U (g)	290.7	-
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	242.6
		Pu (g) 0. (実)	94.2
	硝酸濃度	初期 (M)	4.4
		終期 (M)	2.5
	液量	初期 (ℓ)	2.0
		終期 (ℓ)	1.6
		溶解温度 (°C)	104
		溶解槽内平均圧力	-222
	濃度	初期 (g/ℓ)	0
		終期 (g/ℓ)	195.3

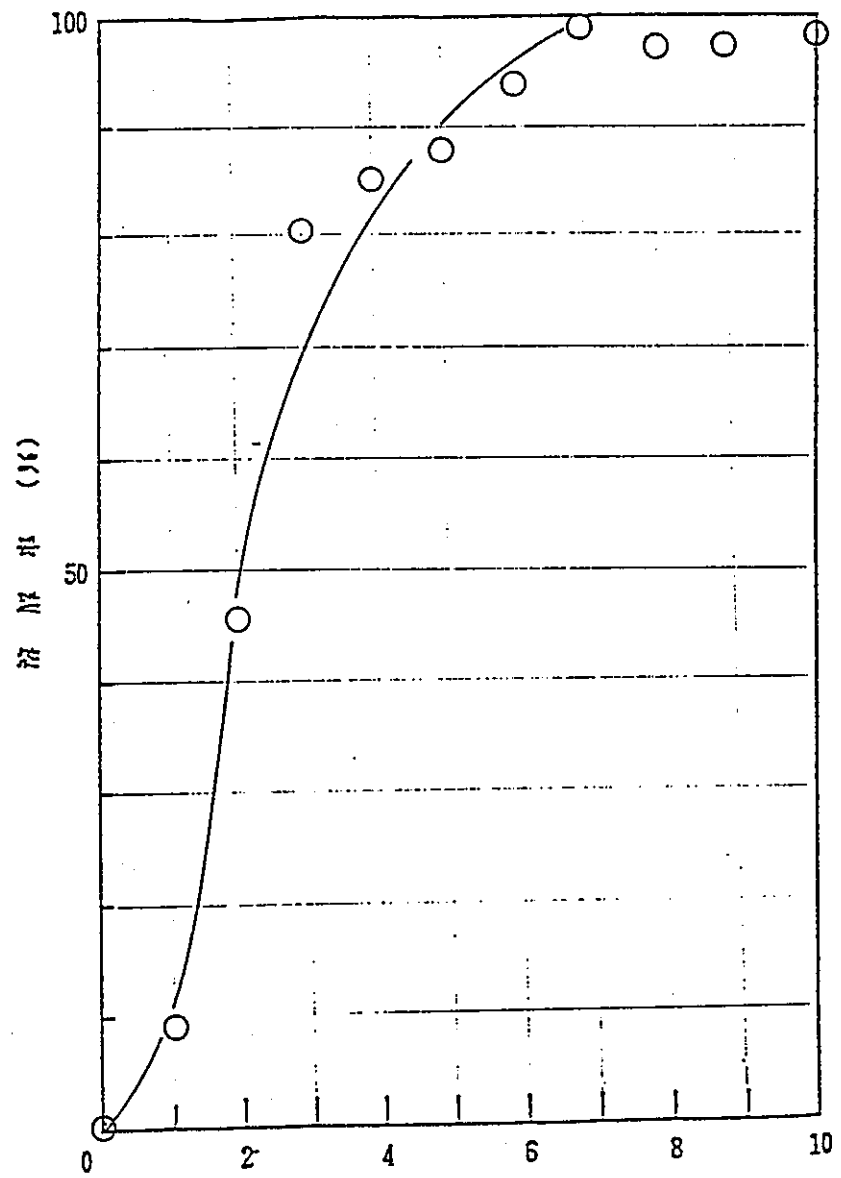


図 3. 20 溶解特性曲線 時間 (hr)

	ランNO	14		
	燃料	MK-II		
製造条件	Pu富化度 (%)	29		
	機械混合時間 (hr)	12		
	成型圧 (t/cm ²)	5.0		
	焼結温度 (°C)	1600		
	焼結時間 (hr)	2.0		
	密度 (%TD)	93.87		
	固容度 (%)			
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	54.700		
	平均線出力 (W/cm ²)			
	冷却日数 (日)	344		
照射後の燃料組成		C	B	
	Pu (g)	68.01	—	
	U (g)	169.70	—	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	169.70	
		Pu (g) 0. (実)	68.01	
	濃度	初期 (M)	3.5	
		終期 (M)	2.7	
	液量	初期 (ℓ)	2.8	
		終期 (ℓ)	2.0	
		溶解温度 (°C)	97.0	
		溶解槽内平均圧力	-203	
	濃度	H	初期 (g/ℓ)	0
			終期 (g/ℓ)	212.83

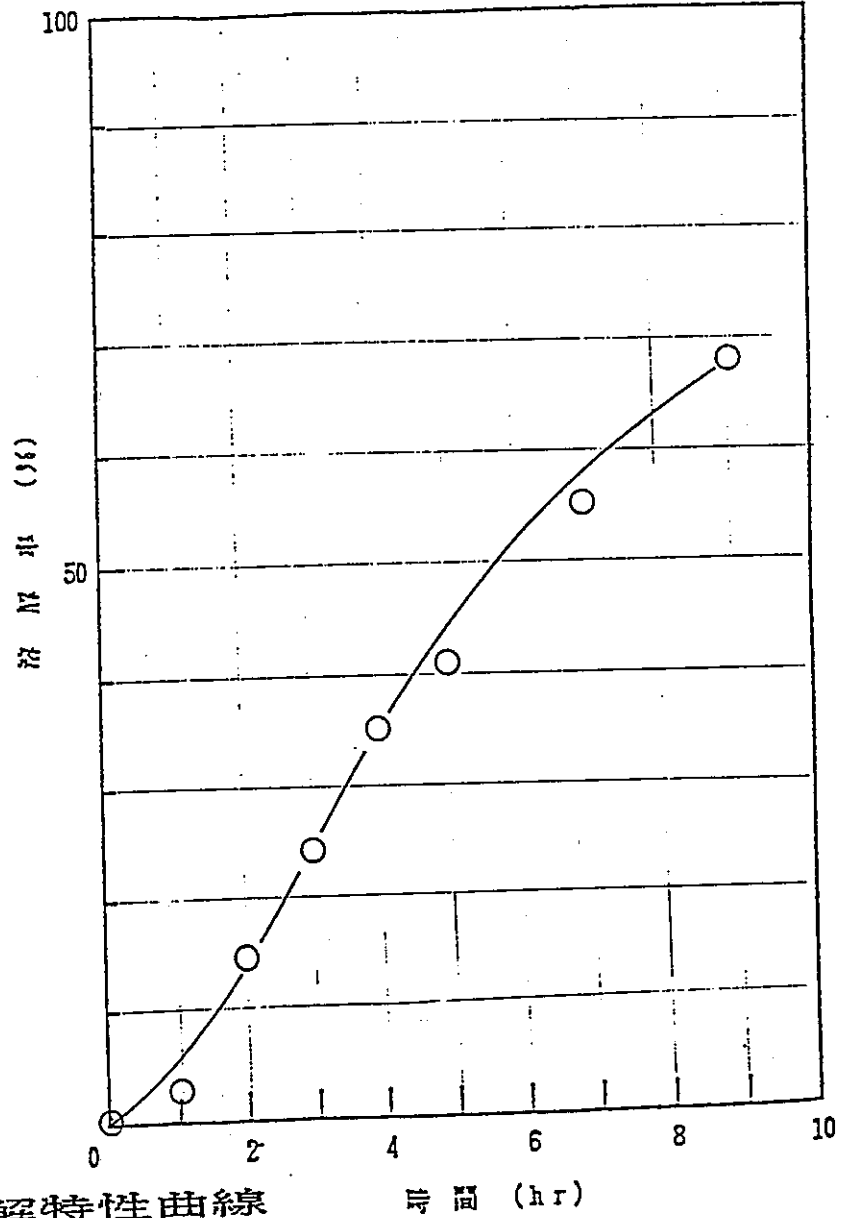


図 3. 2 1 溶解特性曲線 時間 (hr)

炉	炉NO	1	2	3	4-1	5	9									
	炉種	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	DFR									
出	Pu 富化度 (%)	18	18	18	18	18	20									
	燃料混合時間 (hr)	4~5	6	7	7~14	7~14	—									
	成型圧 (t/cm ²)	3	2.2	4.3	3.7~4.0	3.7~4.0	—									
	成型温度 (°C)	1800	1600	1650	1700	1700	1700									
	成型時間 (hr)	2~3	2	2	2	2	—									
	密度 (g/TD)	93.5~93.7	93.9	93.97	93.2~93.7	93.2~93.7	84~94									
	固形率 (%)	>95	>95	>95	>95	>95	—									
燃	平均燃焼量 (kg/D)	4,400	32,000	40,100	40,100	40,100	52,500									
	平均燃出力 (W/cm ²)	250	250	250	250	250	410									
	燃焼日数 (日)	430	654	648	830	1000	4770									
燃		C	B	C	B	C	B	C	B	コ	7	カ	ナ	ト	C	B
	P ₀ (g)	44.3	0.4	42.9	1.9	84.1	3.8	83.9	3.8	84.3	3.8	32.4	—	—	—	—
	U ₀ (g)	204.0	331.2	199.6	330.8	394.7	632.7	394.0	638.7	395.3	660.5	137.54	—	—	—	—
燃	燃	D (g) 0. (g)	535.2	530.4	1054.4	263.1	395.3	660.5	129.93	—	—	—	—	—	—	—
		P ₀ (g) 0. (g)	44.7	44.8	87.9	21.9	84.3	3.8	30.48	—	—	—	—	—	—	—
	燃	初期 (M)	3.6	3.5	3.6	3.26	3.3	3.3	3.3							
		終期 (M)	1.9	1.6	2.9	2.02	1.8	1.8	2.9							
	燃	初期 (L)	3.2	3	3.76	2.03	3.7	4.6	2.5							
		終期 (L)	2.2	2.9	2.69	1.60	2.7	4.2	1.96							
	燃	燃焼温度 (°C)	98	96	101	90	90	98.0								
		燃焼室内平均圧力	-140	-185	-192	-254	-249.8	-184.33								
	燃	燃	初期 (g/L)	0	0	0	0	0	0							
			終期 (g/L)	260.2	186.8	414.5	165.4	152.5	151.5	73.0						

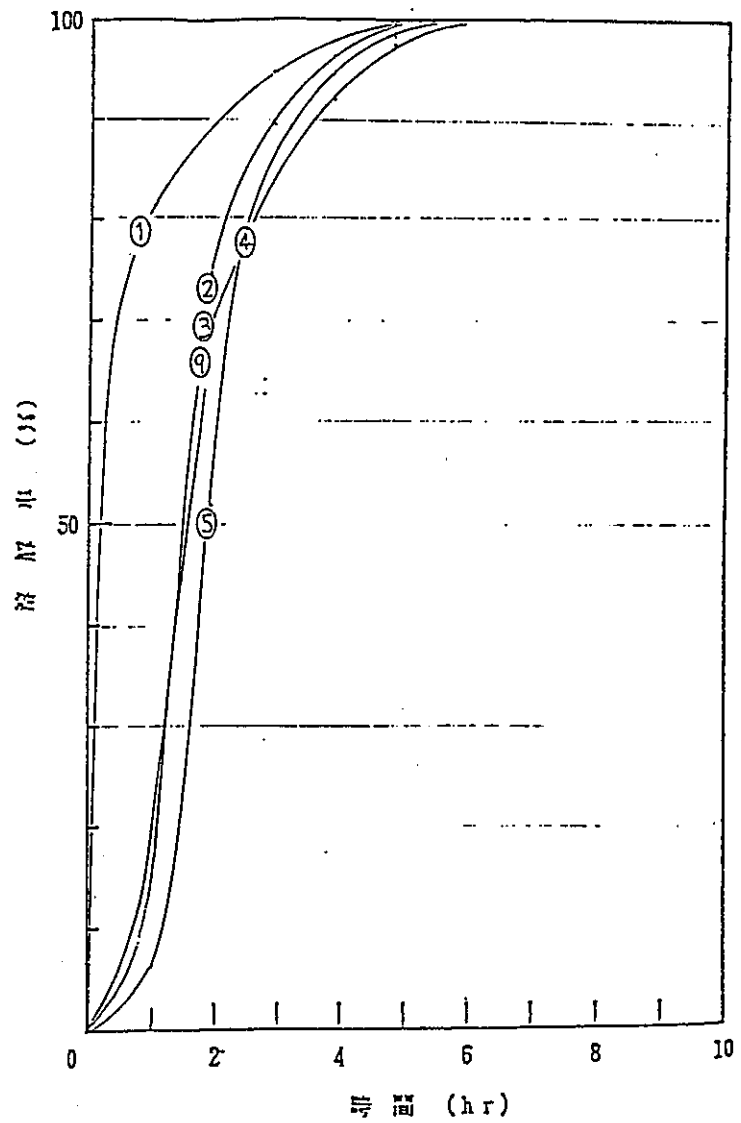


図 3. 2 2 溶解特性曲線

プルトニウム富化度による影響

		5		6		7		
燃料		MK-I		MK-II		MK-II		
製 造 条 件	Pu富化度 (%)	18		29		29		
	機械混合時間 (hr)	7~14		6		6		
	成型圧 (t/cm ²)	3.7~4.0		4.2		4.2		
	焼結温度 (°C)	1700		1700		1700		
	焼結時間 (hr)	2		2		2		
	密度 (%TD)	93.2~93.7		92.1~93.6		92.1~93.6		
	固容度 (%)	>95		95		95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		13.800		13.800		
	平均熱出力 (W/cm)	250		360		360		
	冷却日数 (日)	1000		408		495		
照射後の燃料組成		C	B	C	B	C	B	
	Pu (g)	84.3	3.8	70.9	-	70.9	-	
	U (g)	395.3	660.5	190.4	-	178.9	-	
溶 解 条 件	蒸留量	U (g) 0. (実)	395.3	660.5	190.4	190.4		
		Pu (g) 0. (実)	84.3	3.8	70.9	70.9		
	固 溶 度	初期 (M)	3.3	3.3	3.5	3.48		
		終期 (M)	1.8	1.8	2.7	2.61		
	液 量	初期 (L)	3.7	4.6	2.8	2.7		
		終期 (L)	2.7	4.2	2.3	2.2		
	溶解温度 (°C)		90		97		90	
	溶解槽内平均圧力		-249.8		-240.45		-267.56	
	濃 度	初期 (g/L)	0		0		0	
		終期 (g/L)	152.5	151.5	103.3	99.4		

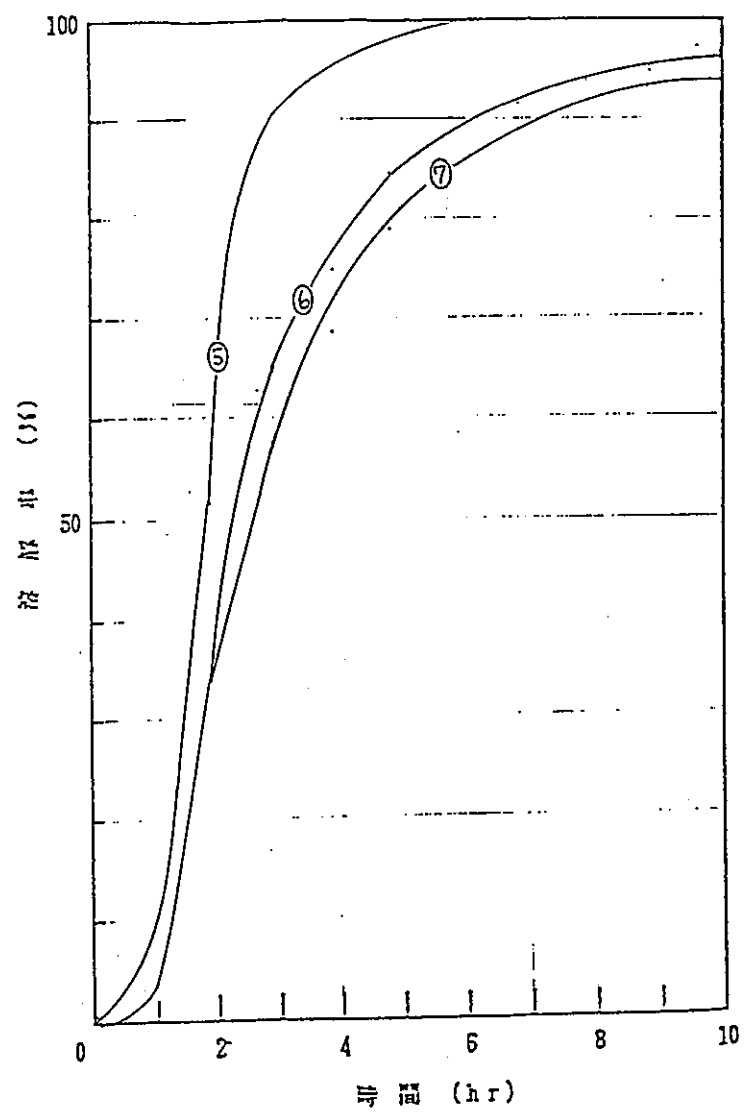


図 3. 2 3 溶解特性曲線 プルトニウム富化度による影響

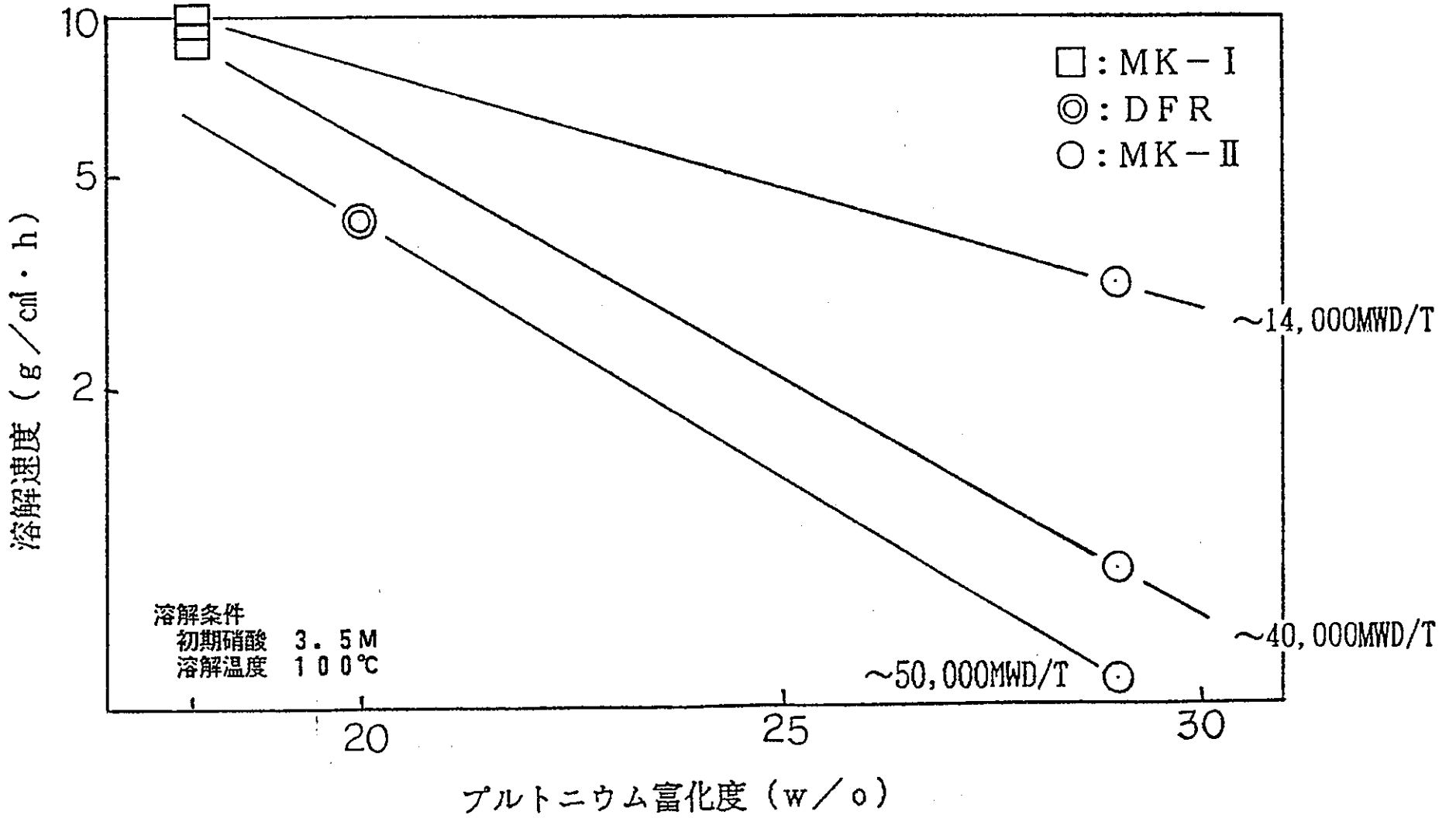


図 3.23(a)

プルトニウム富化度による影響

ベンチスケール溶解試験

	ランNO	4-1		4-4		
	燃料	MK-I		MK-I		
製造条件	Pu富化度 (%)	18		18		
	燃料混合時間 (hr)	7~14		7~14		
	成型圧 (t/cm)	3.7~4.0		3.7~4.0		
	焼結温度 (°C)	1700		1700		
	焼結時間 (hr)	2		2		
	密度 (%TD)	93.2~93.7		93.2~93.7		
	固容度 (%)	>95		>95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	40.100		40.100		
	平均線出力 (W/cm)	250		250		
	冷却日数 (日)	830		830		
照射後の燃焼組成		C	B	C	B	
	Pu (g)	83.9	3.8	83.9	3.8	
	U (g)	394.0	658.7	394.0	658.7	
溶解条件	装置	U (g) 0. (実)	253.1		254.2	
		Pu (g) 0. (実)	21.9		22	
	硝酸濃度	初期 (M)	3.36		2.36	
		終期 (M)	2.02		1.68	
	液量	初期 (ℓ)	2.03		4.09	
		終期 (ℓ)	1.60		3.58	
	溶解温度 (°C)		90		90	
	溶解槽内平均圧力		-254		-235	
	濃度	初期 (g/ℓ)	0		0	
		終期 (g/ℓ)	165.4		79.0	

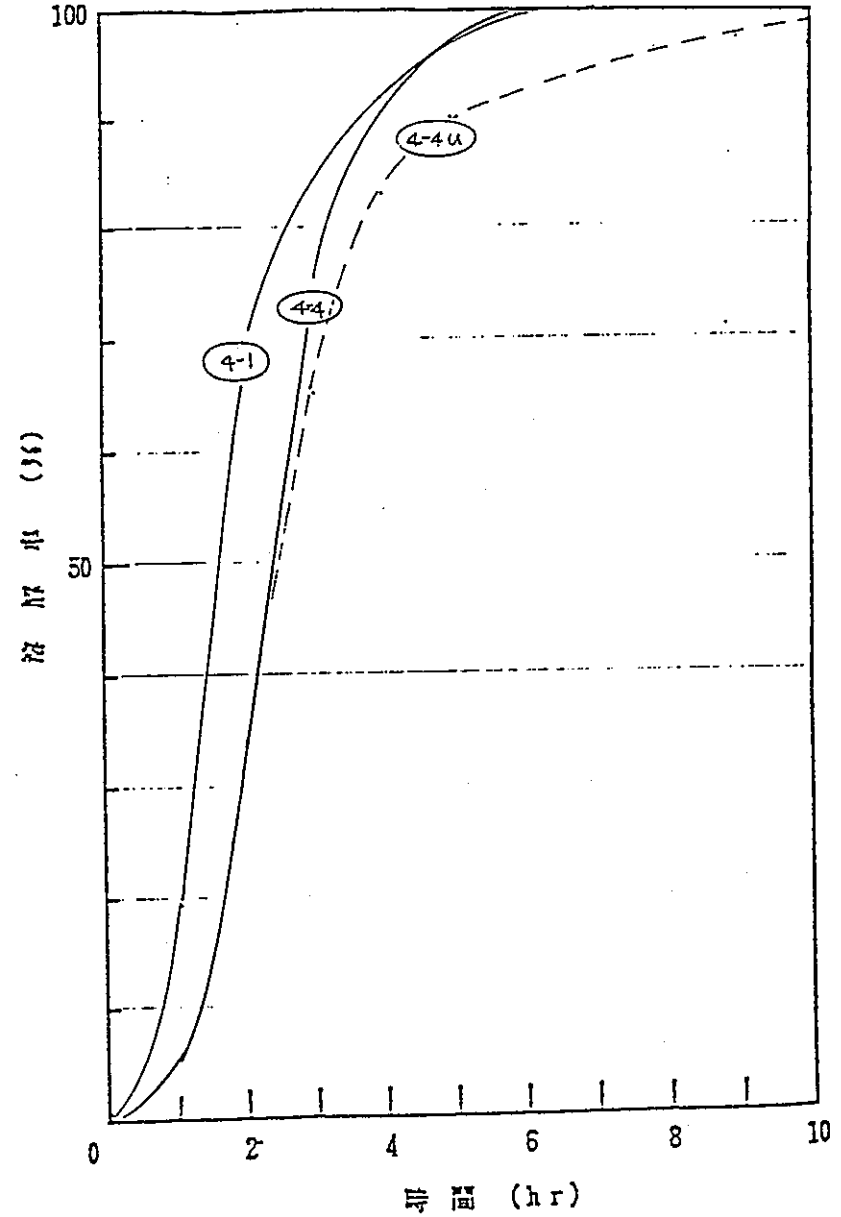


図 3. 2 4 溶解特性曲線

初期硝酸濃度による影響

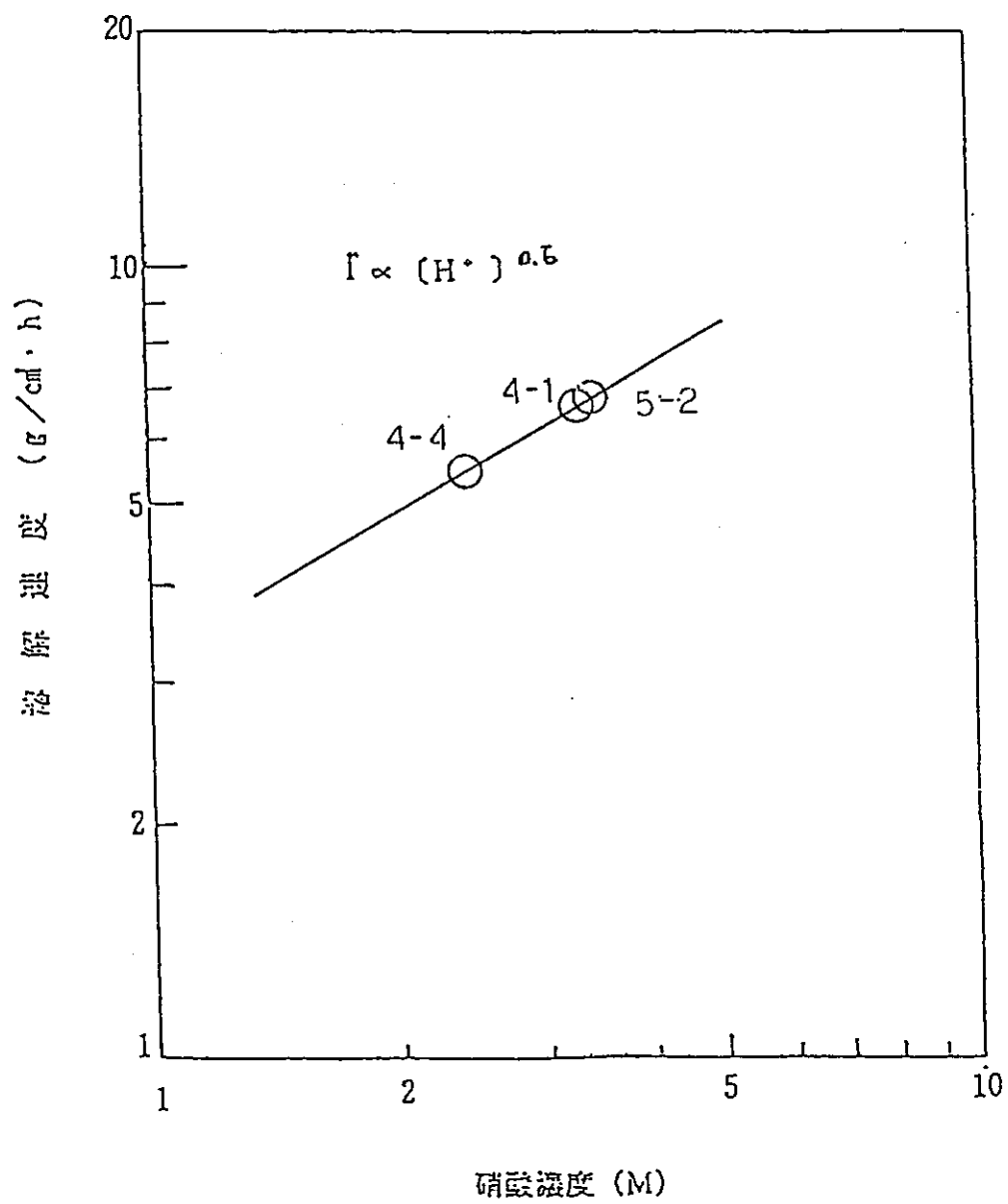


圖 3. 2 5 溶解速度 V S 硝酸濃度

	ランNO	8		13			
	燃料	MK-II		C型特燃			
製造条件	Pu富化度 (%)	29		30			
	機械混合時間 (hr)	4.5~5.0		6			
	成型圧 (t/cm)	3.9~4.5		2~3			
	焼結温度 (°C)	1620~1680		1610			
	焼結時間 (hr)	2		2			
	密度 (%TD)	92.5~92.8		85			
	固容度 (%)	>95		90			
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	31,700		54,100			
	平均線出力 (W/cm)	360		360			
	冷却日数 (日)	395		736			
照射後の燃料組成		コ	ア	フナクト	コ	ア	フナクト
	Pu (g)	68.7	-	-	112.9	-	-
	U (g)	187.4	-	-	290.7	-	-
溶解条件	濃度	U (g) 0. (実)	173.8		242.6		
		Pu (g) 0. (実)	64.3		94.2		
	温度	初期 (M)	3.4		4.4		
		終期 (M)	2.71		2.5		
	液量	初期 (ℓ)	2.5		2.0		
		終期 (ℓ)	2.0		1.6		
		溶解温度 (°C)	97		104		
		溶解槽内平均圧力	-166.2		-222		
	濃度	初期 (g/ℓ)	0		0		
		終期 (g/ℓ)	100.4		195.3		

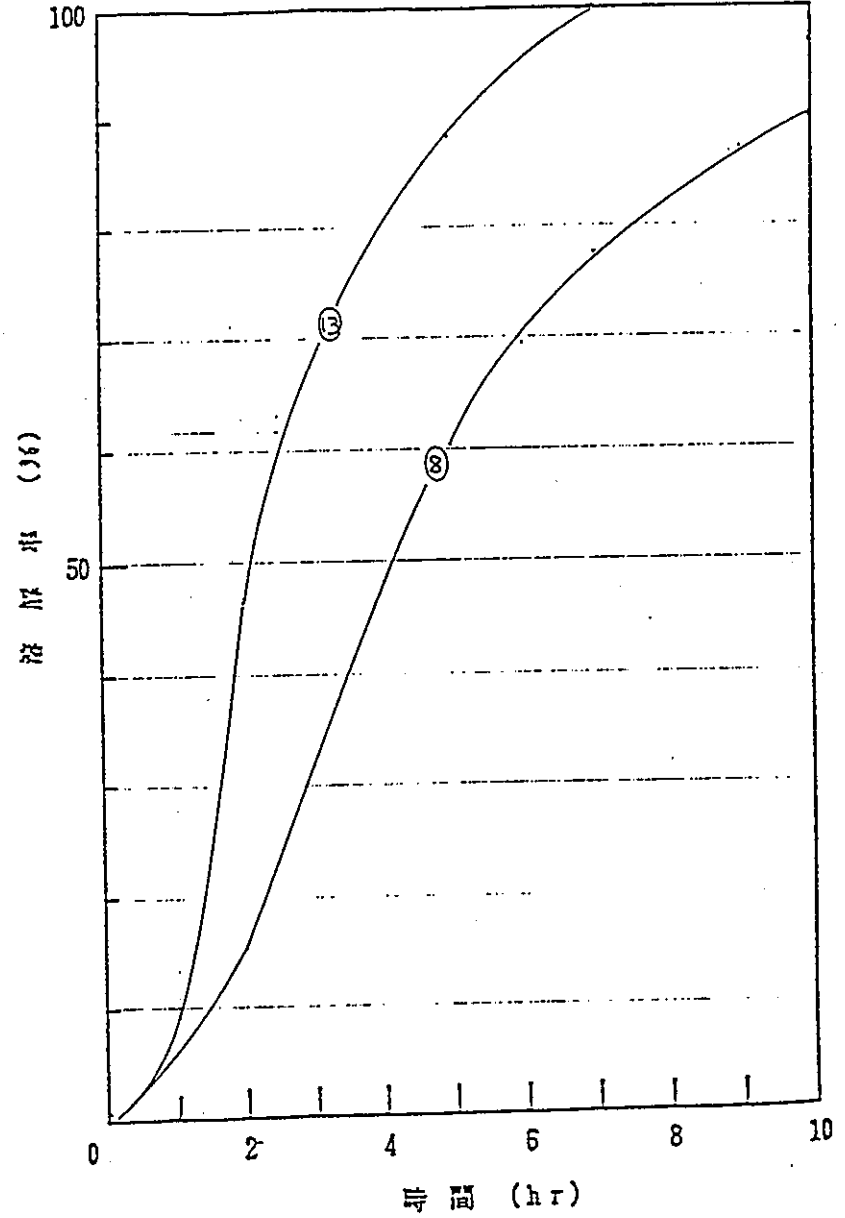


図 3. 26 溶解特性曲線

初期硝酸濃度による影響

	ランNO	11	12		
	燃料	Phenix	Phenix		
製造条件	Pu富化度 (%)	30	30		
	燃料混合時間 (hr)	10	10		
	成型圧 (t/cm ²)	1.5 ~ 3.5	1.5 ~ 3.5		
	焼結温度 (°C)	1650	1650		
	焼結時間 (hr)	2	2		
	密度 (%TD)	85.93	85.93		
	固容度 (%)	-	>97		
照査条件	平均燃焼度 (MWD/T)	87,847	94,000		
	平均線出力 (W/cm)	440	440		
	冷却日数 (日)	927	1488		
照射条件		C	B	C	B
	Pu (g)	98.8	-	113.7	-
	U (g)	263.3	-	271.0	181.9
溶解条件	溶解量	U (g) 0. (実)	242	390.8	
		Pu (g) 0. (実)	90.8	69.2	
	硝酸濃度	初期 (M)	3.0	4.27	
		終期 (M)	2.0	5.0	
	液量	初期 (ℓ)	2.5	3.2	
		終期 (ℓ)	1.8	1.7	
		溶解温度 (°C)	96	107	
		溶解槽内平均圧力	-207.35	-237	
	H濃度	初期 (g/ℓ)	0	0	
		終期 (g/ℓ)	78.9	262.3	

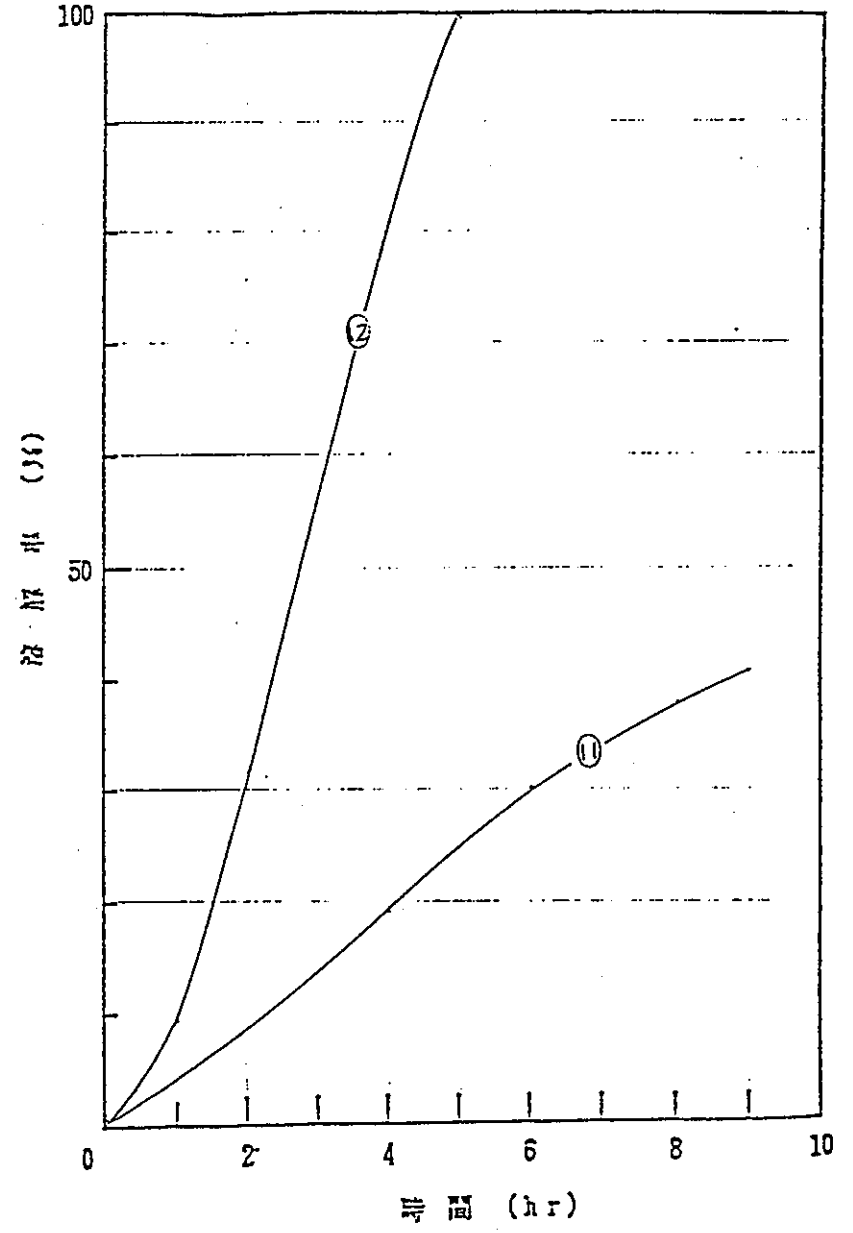


図 3. 2 8 溶解特性曲線

初期硝酸濃度による影響

		ランNO	4-1	4-2	4-3			
		燃料	MK-I	MK-I	MK-I			
照射条件	Pu濃化度 (%)		18	18	18			
	照射混合時間 (hr)		7~14	7~14	7~14			
	成型圧 (t/cm)		3.7~4.0	3.7~4.0	3.7~4.0			
	焼結温度 (℃)		1700	1700	1700			
	焼結時間 (hr)		2	2	2			
	密度 (%TD)		93.2~93.7	93.2~93.7	93.2~93.7			
	固容度 (%)		>95	>95	>95			
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)		40,100	40,100	40,100			
	平均線出力 (W/cm)		250	250	250			
	冷却日数 (日)		830	830	830			
照射後の燃料組成		C	B	C	B	C	B	
	Pu (g)		83.9	3.8	83.9	3.8	83.9	3.8
	U (g)		394.0	658.7	394.0	658.7	394.0	658.7
溶解条件	溶解量	U (g) 0. (完)	263.1		263.1		262.1	
		Pu (g) 0. (完)	21.9		21.9		21.8	
	溶解度	初期 (M)	3.36		3.10		3.35	
		終期 (M)	2.02		1.60		1.97	
	液量	初期 (ℓ)	2.03		2		2.03	
		終期 (ℓ)	1.60		1.56		1.59	
		溶解温度 (℃)	90		80		70	
		溶解槽内平均圧力	-254		-232		-222	
	濃度別	初期 (g/ℓ)	0		0		0	
		終期 (g/ℓ)	165.4		165.3		166.3	

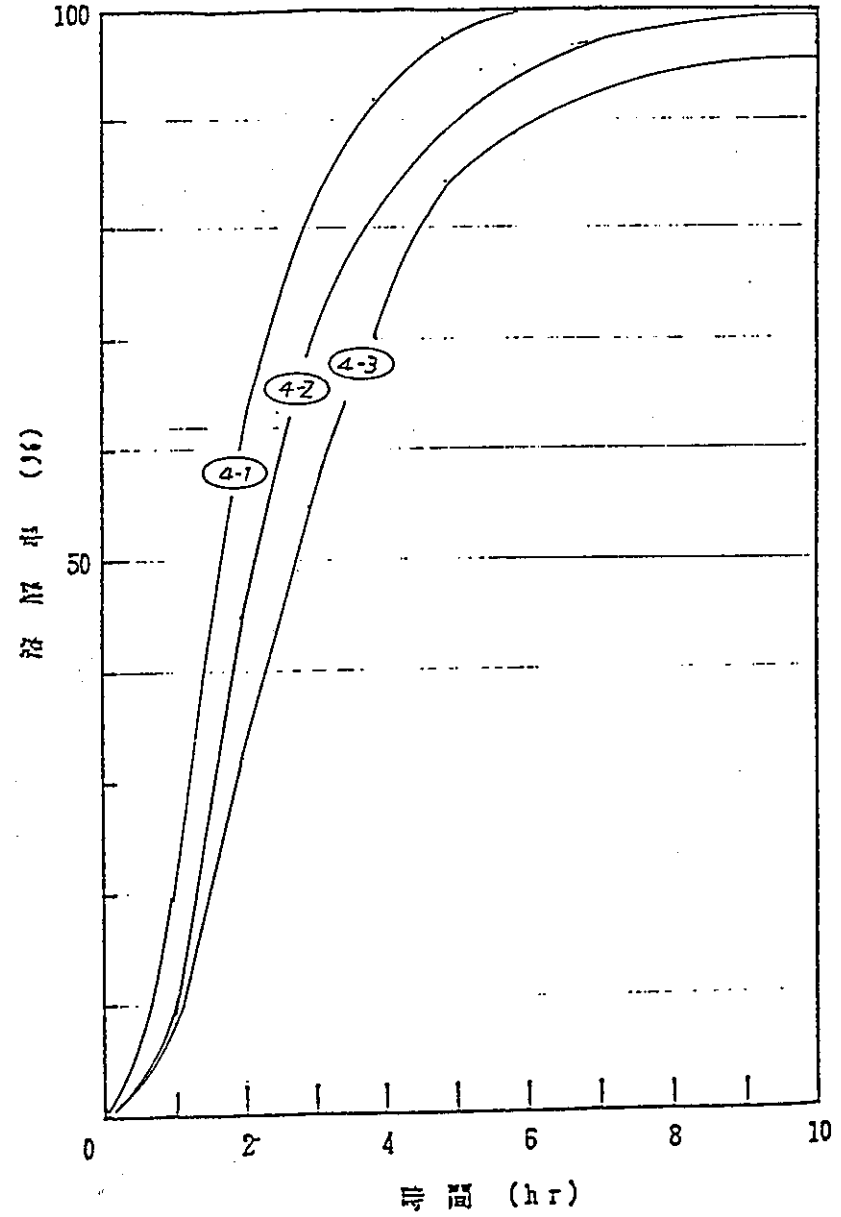


図 3. 29 溶解特性曲線

溶解温度による影響

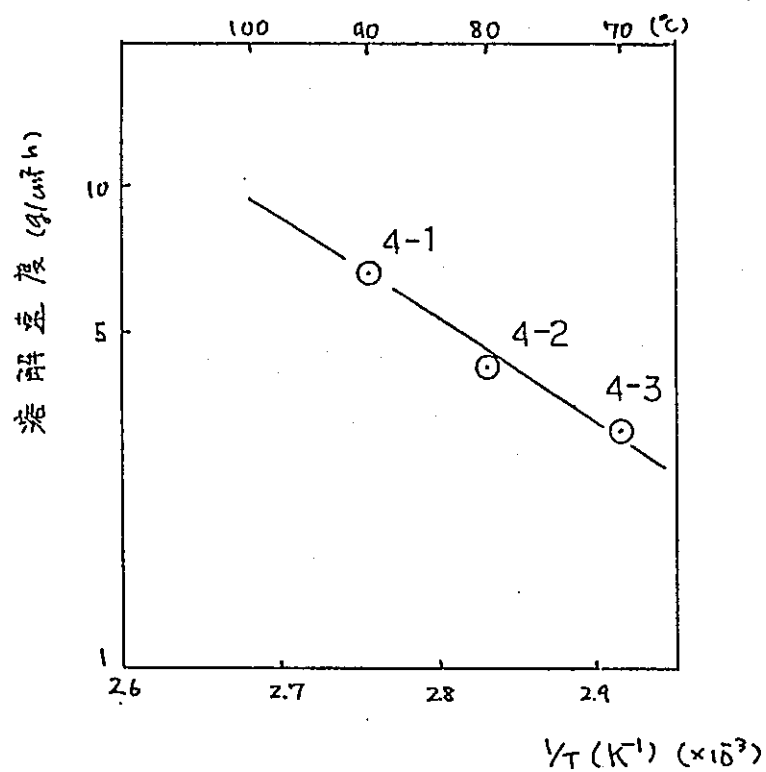


图 3. 3 0 溶解速度与溶解温度

	ランNO	6		7		
	燃料	MK-II		MK-II		
製造条件	Pu富化度 (%)	29		29		
	機械混合時間 (hr)	6		6		
	成型圧 (t/cm ²)	4.2		4.2		
	焼結温度 (°C)	1700		1700		
	焼結時間 (hr)	2		2		
	密度 (%TD)	92.1~93.6		92.1~93.6		
	固容度 (%)	95		95		
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13,800		13,800		
	平均線出力 (W/cm)	360		360		
	冷却日数 (日)	408		495		
照射後の燃料組成		C	B	C	B	
	Pu (g)	70.9	-	70.9	-	
	U (g)	190.4	-	178.9	-	
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	190.4		190.4	
		Pu (g) 0. (実)	70.9		70.9	
	溶解度	初期 (M)	3.5		3.48	
		終期 (M)	2.7		2.61	
	液量	初期 (ℓ)	2.8		2.7	
		終期 (ℓ)	2.3		2.2	
		溶解温度 (°C)	97		90	
		溶解槽内平均圧力	-240.45		-267.56	
	濃度	初期 (g/ℓ)	0		0	
		終期 (g/ℓ)	103.3		99.4	

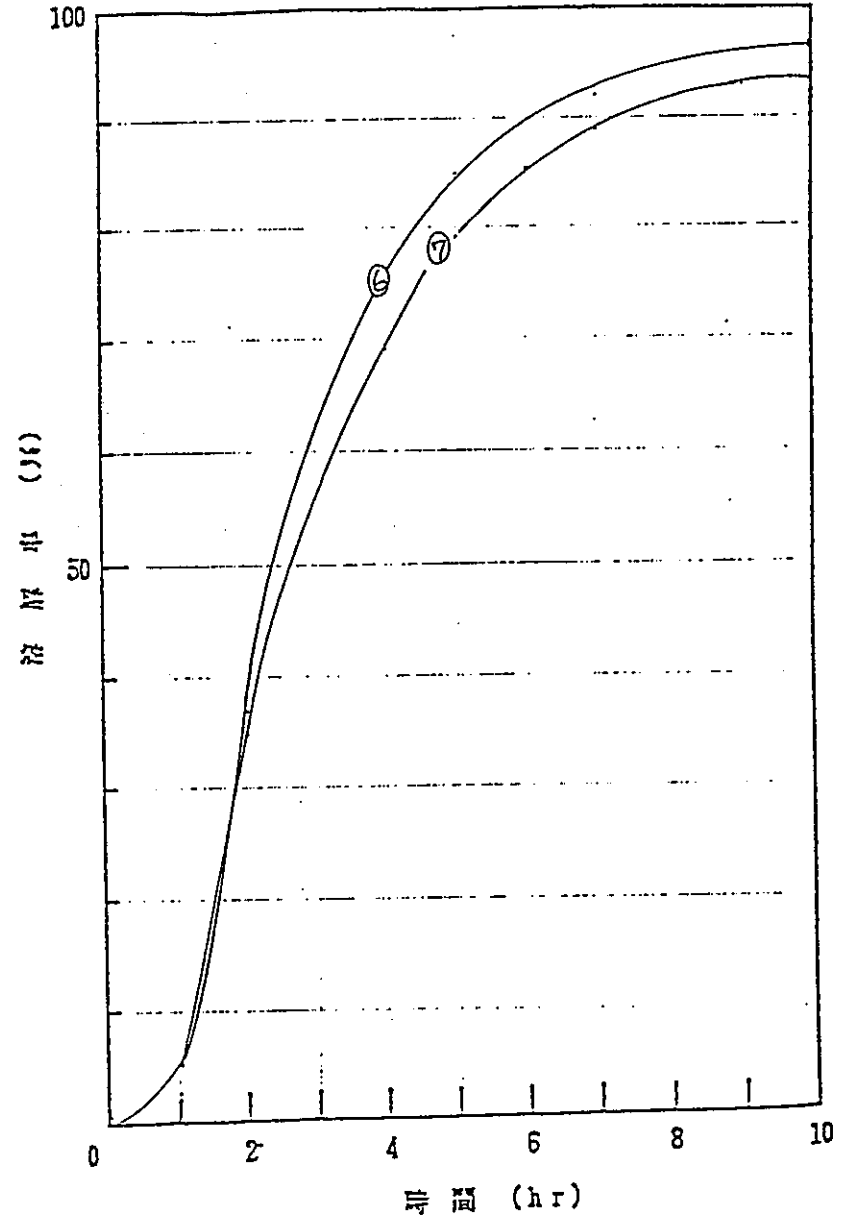


図 3. 3 1 溶解特性曲線 溶解温度による影響

	ランNO	6	8	14	11						
	燃料	MK-II	MK-II	MK-II	Phoenix						
製造条件	Pu 濃化度 (%)	29	29	29	30						
	機械混合時間 (hr)	6	4.5~5.0	12	10						
	成型圧 (t/cm ²)	4.2	3.9~4.5	5.0	1.5~3.5						
	焼結温度 (℃)	1700	1620~1680	1600	1650						
	焼結時間 (hr)	2	2	2.0	2						
	密度 (%TD)	92.1~93.6	92.5~92.8	93.87	85.93						
	固容度 (%)	95	>95		-						
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13.800	31.700	54.700	87.847						
	平均線出力 (W/cm)	360	360		440						
	冷却日数 (日)	408	395	344	927						
照射後の溶解組成		コ	ア	バック	コ	ア	バック	C	B	C	B
	Pu (g)	70.9	-	68.7	-	68.01	-	98.8	-		
	U (g)	190.4	-	187.4	-	169.70	-	263.3	-		
溶解条件	装荷量	U (g) 0. (実)	190.4	173.8	169.70	242					
		Pu (g) 0. (実)	70.9	64.3	68.01	90.8					
	溶解時間	初期 (M)	3.5	3.4	3.5	3.0					
		終期 (M)	2.7	2.71	2.7	2.0					
	液量	初期 (ℓ)	2.8	2.5	2.8	2.5					
		終期 (ℓ)	2.3	2.0	2.0	1.8					
	溶解温度 (℃)	97	97	97.0	95						
	溶解槽内平均圧力	-240.45	-166.2	-203	-207.35						
	溶解度	初期 (g/ℓ)	0	0	0	0					
		終期 (g/ℓ)	103.3	100.4	212.83	78.9					

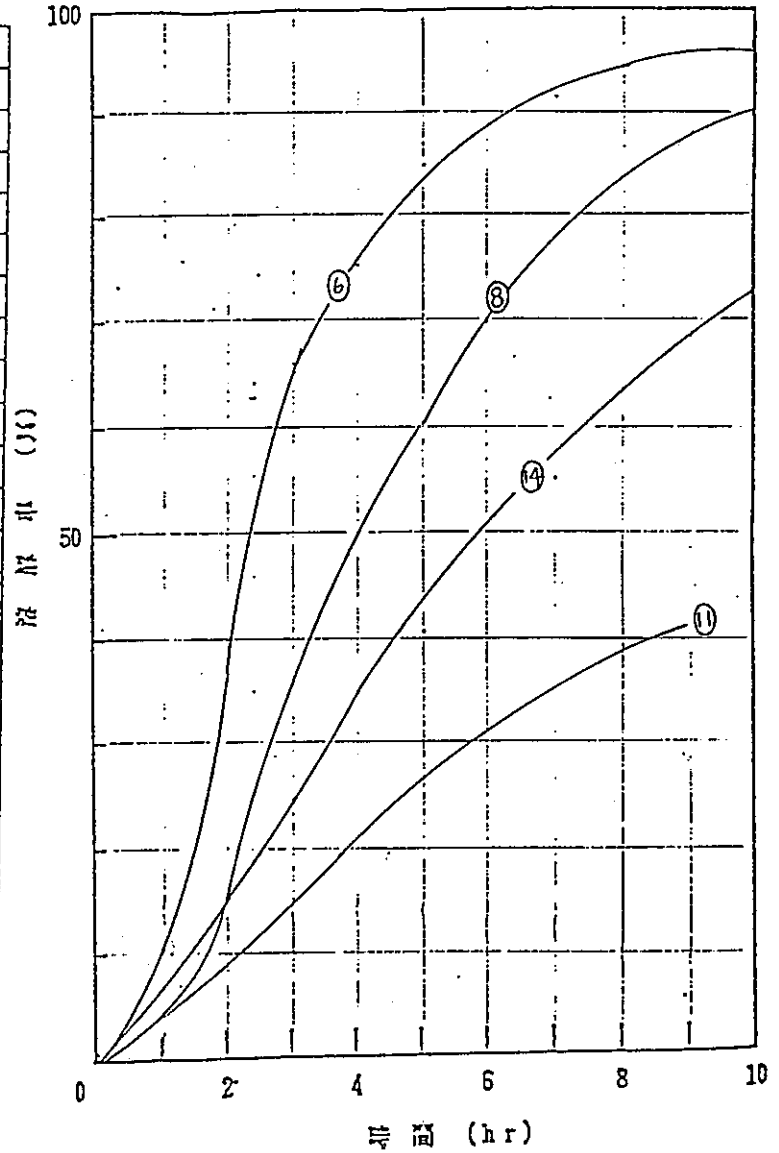


図 3. 3 2 溶解特性曲線

燃焼度による影響

	ランNO	6	8	14			
	燃料	MK-II	MK-II	MK-II			
製造条件	Pu富化度 (%)	29	29	29			
	燃料混合時間 (hr)	6	4.5~5.0	12			
	成型圧 (t/cm ²)	4.2	3.9~4.5	5.0			
	焼結温度 (°C)	1700	1620~1680	1600			
	焼結時間 (hr)	2	2	2.0			
	密度 (%TD)	92.1~93.6	92.5~92.8	93.87			
	固容度 (%)	95	>95				
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13,800	31,700	54,700			
	平均線出力 (W/cm)	360	360				
	冷却日数 (日)	408	395	344			
照射後の燃料組成		コア	燃料	燃料	C	B	
	Pu (g)	70.9	-	68.7	-	68.01	-
	U (g)	190.4	-	187.4	-	169.70	-
溶解条件	溶解液	U (g) 0. (完)	190.4	173.8	169.70		
		Pu (g) 0. (完)	70.9	64.3	68.01		
	溶解液	初期 (M)	3.5	3.4	3.5		
		終期 (M)	2.7	2.71	2.7		
	液	初期 (ℓ)	2.8	2.5	2.8		
		終期 (ℓ)	2.3	2.0	2.0		
		溶解温度 (°C)	97	97	97.0		
		溶解槽内平均圧力	-240.45	-166.2	-203		
	H濃度別	初期 (g/ℓ)	0	0	0		
		終期 (g/ℓ)	103.3	100.4	212.83		

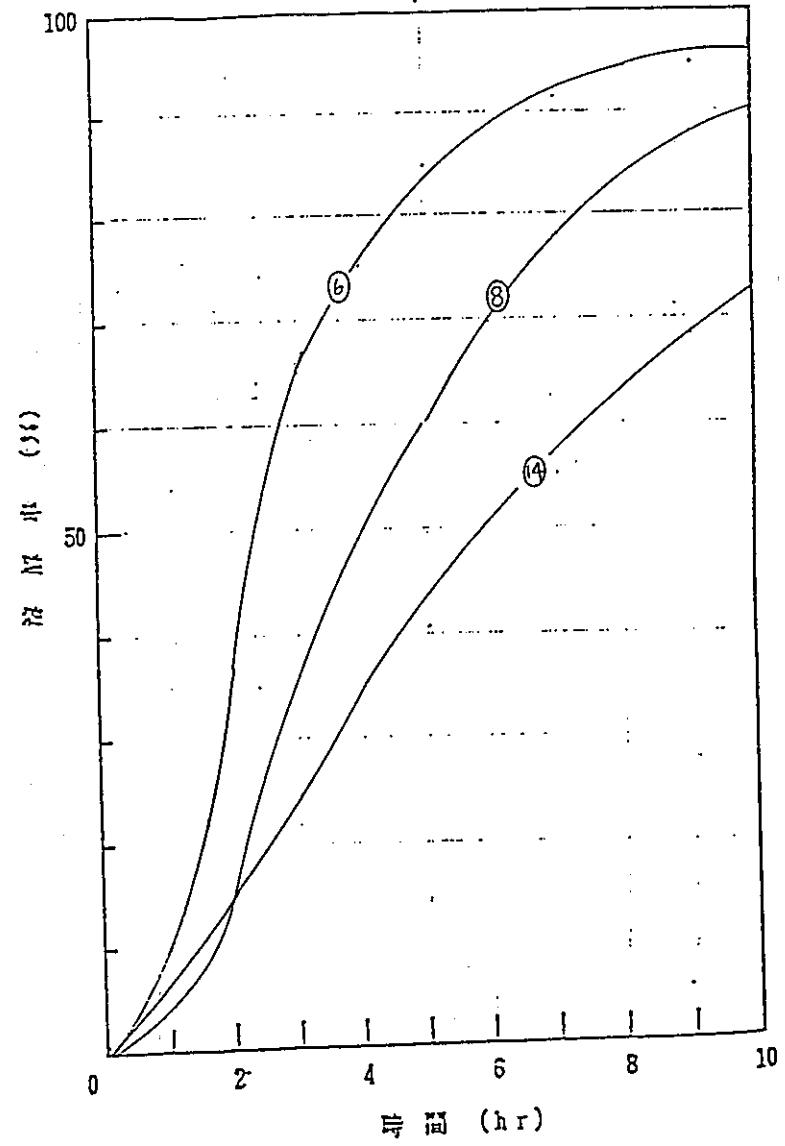


図 3. 3 3 溶解特性曲線

燃焼度による影響

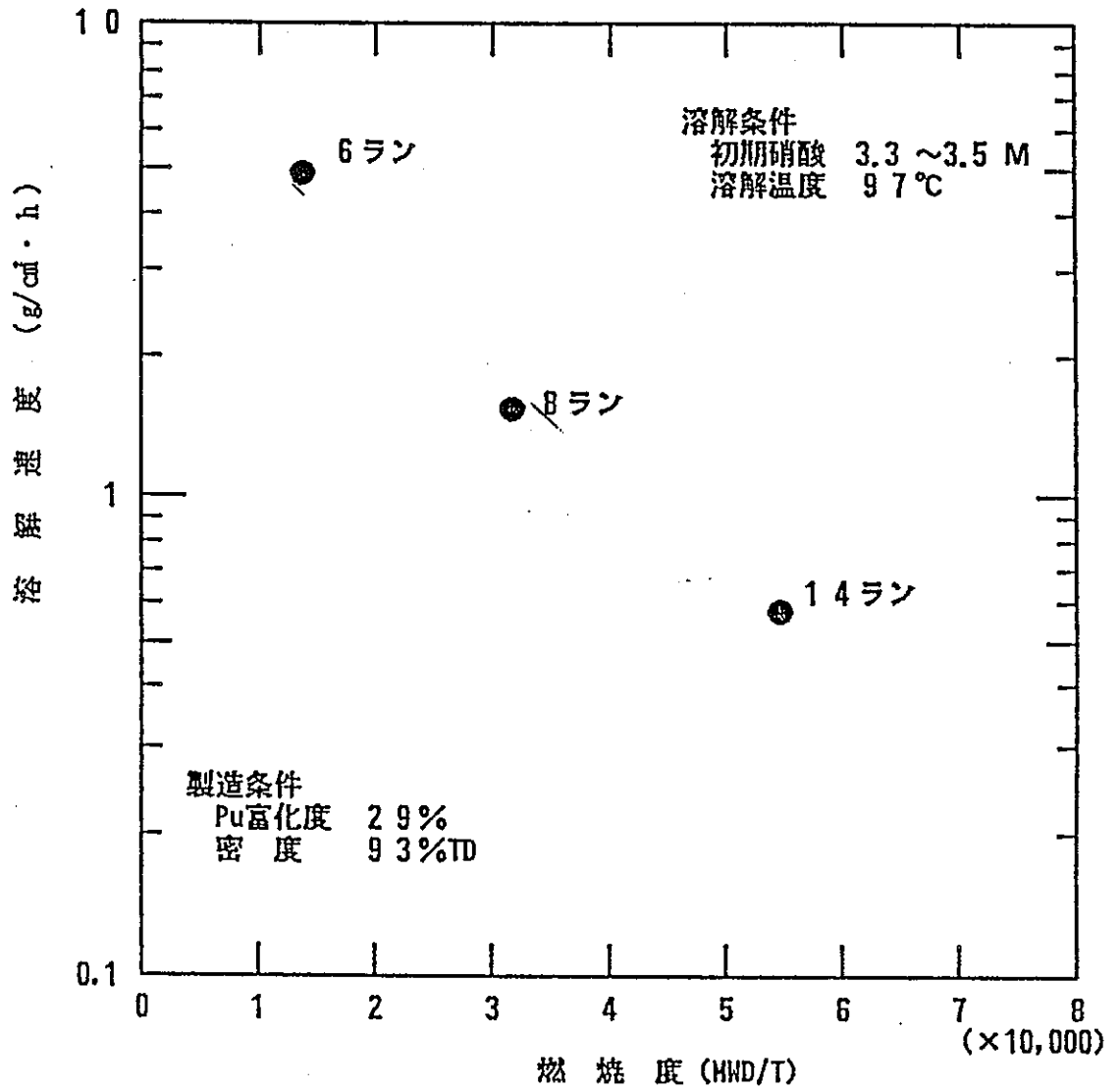


図 3. 3 4 50%溶解時における溶解速度 VS 燃焼度

図 3. 3.5

燃料ペレット径方向Pu, Uの濃度分布

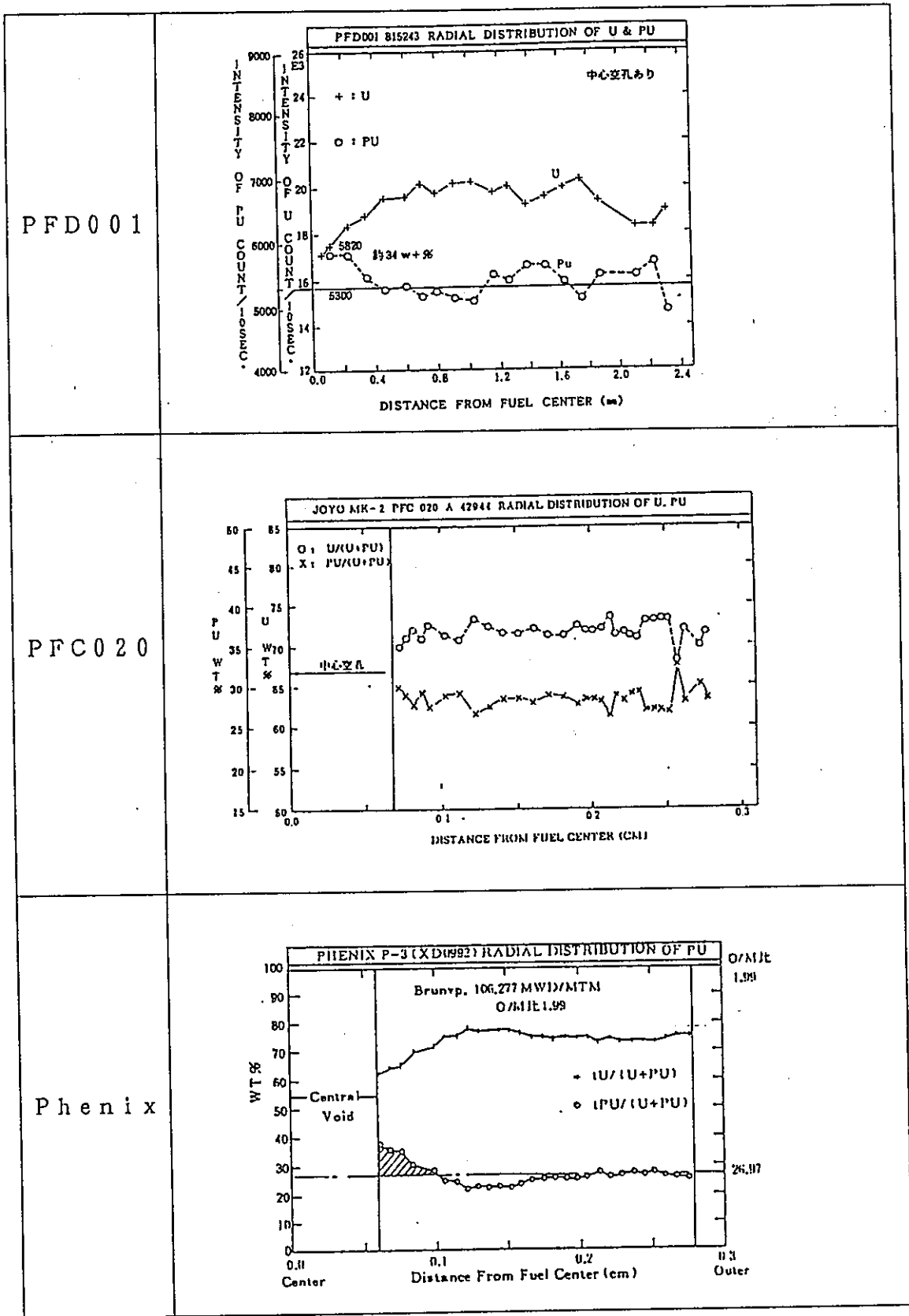
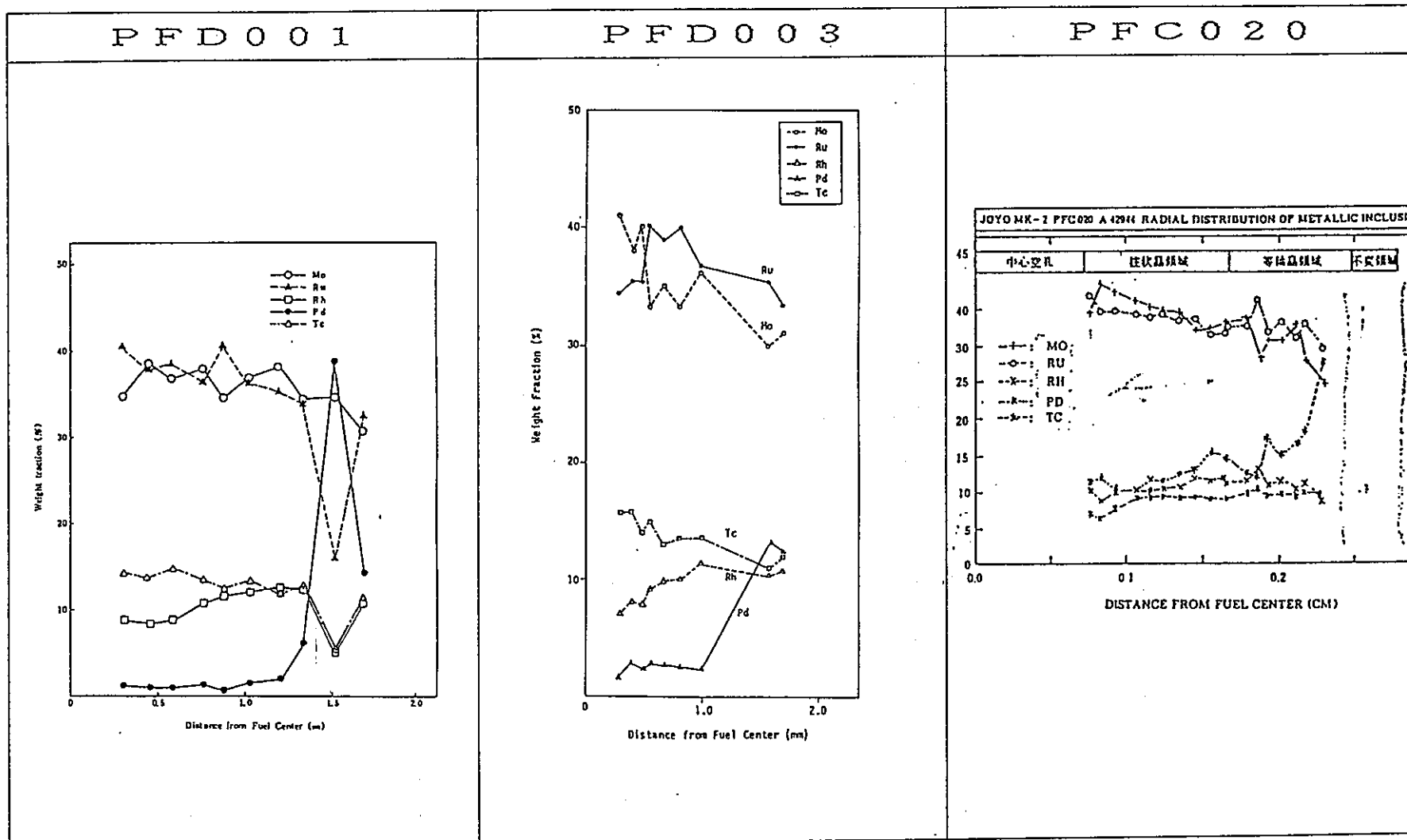


図 3. 3 6 燃料ペレット径方向金属状析出物



	ランNO		8		10	
	燃料		MK-I		MK-II	
燃 料 条 件	Pu 濃化度 (%)		29		29	
	燃料混合時間 (hr)		4.5~5.0		4.5~5.0	
	成型圧 (t/cm ²)		3.9~4.5		3.9~4.5	
	焼結温度 (°C)		1620~1680		1620~1680	
	焼結時間 (hr)		2		2	
	密度 (%TD)		92.5~92.8		92.5~92.8	
	固容度 (%)		>95		>95	
調 製 条 件	平均燃焼度 (MWD/T)		31.700		31.700	
	平均線出力 (W/cm)		360		360	
	冷却日数 (日)		395		574	
調 製 成 果			C	B	C	B
	Pu (g)		68.7	-	68.6	-
	U (g)		187.4	-	187.2	-
溶 解 条 件	溶解前	U (g) 0. (%)	173.8		154.0	
		Pu (g) 0. (%)	64.3		57	
	濃度	初期 (M)	3.4		3.5	
		終期 (M)	2.71		2.7	
	液	初期 (L)	2.5		3.5	
		終期 (L)	2.0		3.1	
	溶解温度 (°C)		97		97	
	溶解槽内平均圧力		-166.2		-230.88	
	濃度	初期 (g/L)	0		69.2	
		終期 (g/L)	100.4		56.6	

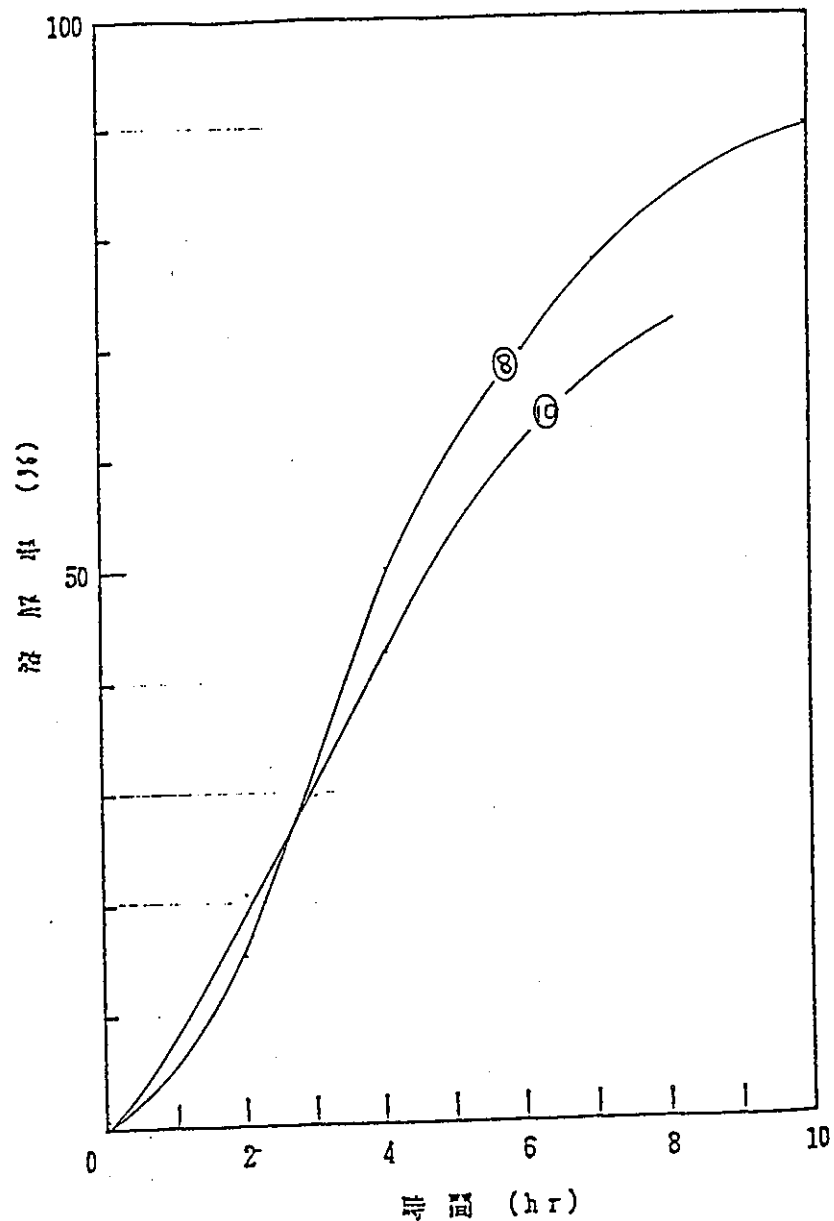


図 3. 37 溶解特性曲線

初期重金属による影響

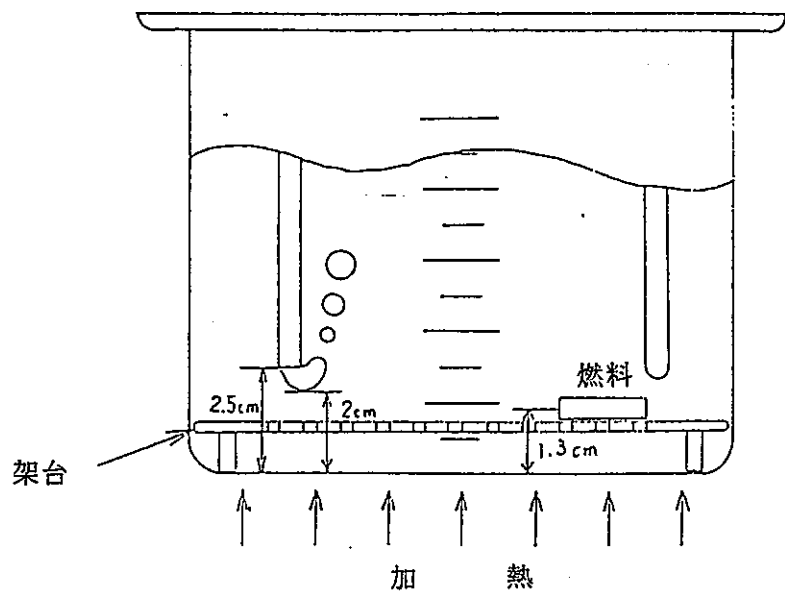
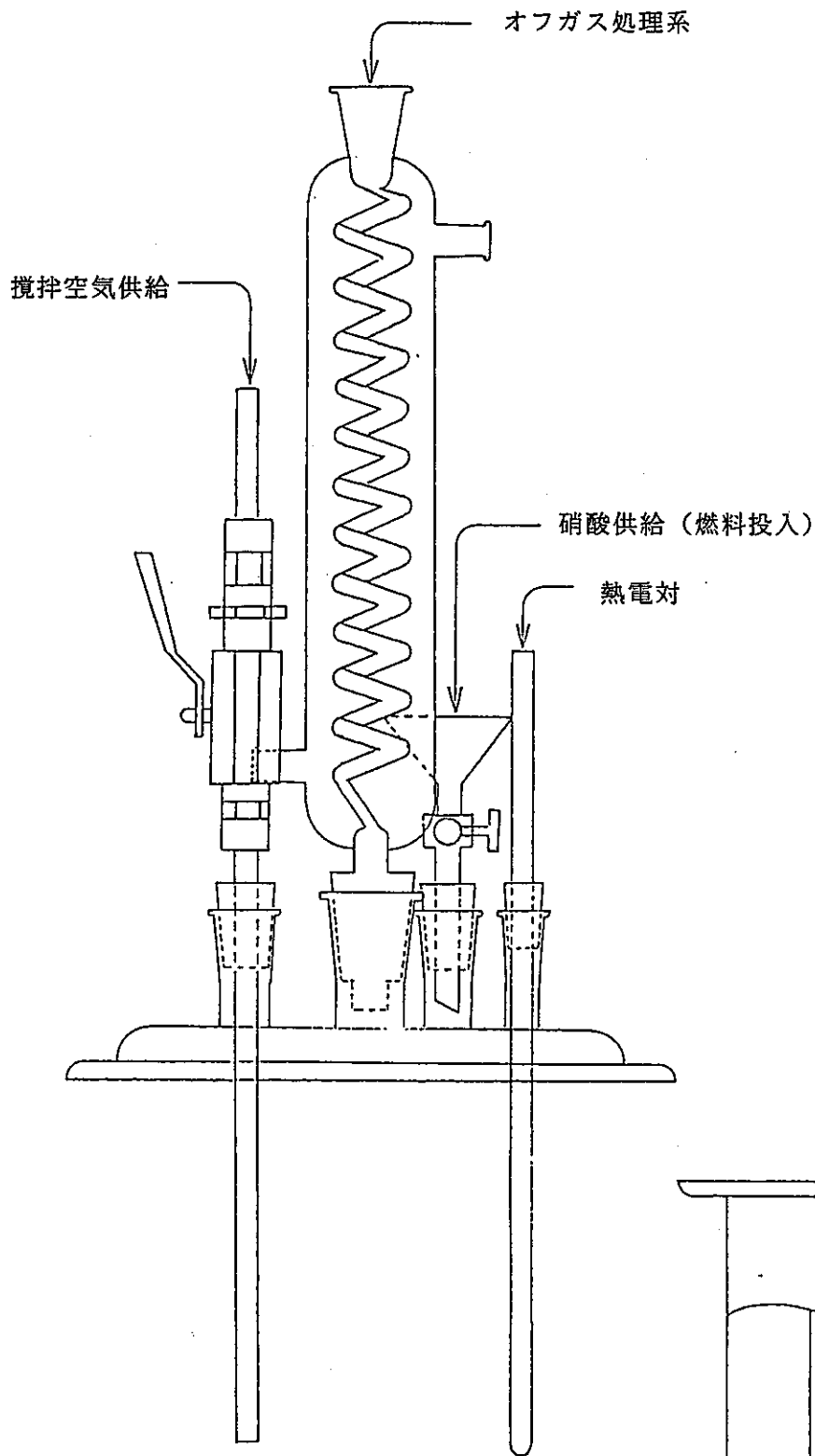


図 4 ビーカースケール溶解試験装置

10ラン 小型溶解条件

ラン No	供 試 燃 料		初 期			溶解 温度 C	攪拌
	燃焼度*	重量(g)	HNO ₃ mol	H.M g/l	液量 ml		
R10N0	—	4.9	3.5	0	100	BP	0
R10N1	—	4.9	3.5	0	100	100	400
R10N2	—	4.5	3.5	0	100	90	400
R10N4	—	4.6	5.0	0	100	90	400
R10N5	—	4.9	2.5	0	100	100	400
R10N6	—	4.9	5.0	0	100	100	400
R10N7	—	4.8	8.0	0	100	100	400
R10N8	—	1.6	3.5	0	100	100	400
R10N9	—	6.7	5.0	0	100	100	400
R10N10	—	4.9	3.5	55.7	100	100	400
R10N11	—	4.9	3.5	86.3	100	100	400
R10N12	—	3.2 *	3.5	0	100	100	400
R10N13	—	2.3 **	3.5	0	100	100	400

* 粉末 < 53 μm

** 粉末 < 149 ~ 297 μm

表 4. 1, 10ラン小型溶解条件

12ラン 小型溶解条件

ラン No	供 試 燃 料		初 期			溶解 温度 ℃	攪拌
	燃焼度*	重量(g)	HNO ₃ mol	H.N g/g	液量 ml		
12-01	80.000	6.3	5.0	120	500	108	0
12-02	94.000	6.2	5.0	120	500	108	0
12-03	108.000	5.7	5.0	120	500	108	0
12-05	108.000	5.3	7.0	0	1000	110	0
12-06	108.000	5.9	5.09	0	1000	107	0
12-27	108.000	5.3	5.09	0	500	106	**
12-28	108.000	6.0	5.09	0	500	105	***
12-31	94.000	6.4	5.0	1278	500	104	0
12-32	108.000	6.0	4.85	2678	500	106	0
12-33	94.000	6.1	4.85	1266	500	95	0
12-34	80.000	6.1	4.91	1242	500	93	0
12-21	80.000	6.4	5.09	0	100	102	200
12-22	94.000	6.3	5.09	0	100	103	200
12-24	108.000		3.0	0	100	103	0
12-25	108.000	5.5	7.0	0	100	105	200
12-29	ブランク	5.4	5.09	0	100	102	200

** Stirrer (Low rpm)
 *** Stirrer (High rpm)

表 4. 2. 1 2 ラン小型溶解条件

13ラン 小型溶解条件

ラン No	供 試 燃 料		初 期			溶解 温度 ℃	攪拌
	燃焼度*	重量(g)	HNO ₃ mol	H.M g/l	液量 ml		
13-01	63,200	5.3	3.0	0	500	100	200
13-02	63,200	5.2	5.0	0	500	98	200
13-03	63,200	5.4	7.0	0	500	87	200
13-04	63,200	5.2	5.0	0	500	90	200
13-05	63,200	5.3	5.0	131	480	85	200
13-06	63,200	5.4	5.0	120	500	100	200
13-07	63,200	5.3	3.0	240	500	100	200
13-08	63,200	4.9	5.0	350	320	100	200
13-09	63,200	5.5	5.0	0	500	100	*
13-10	41,000	4.0	5.0	0	500	99	200
13-11	63,200	5.4	4.8	150	480	105	200
粉末	63,200	3.4	4.8	142	480	96	200
13-12	63,200	5.3	5.0	0	500	100	200
13-13	63,200	5.4	7.0	0	500	100	200

表 4. 3. 13ラン小型溶解条件

14ラン小型溶解試験 試験条件

ランNo	供試燃料		初期			溶解 温度	攪拌	開口率 (%)
	燃焼度	重量 (g)	硝酸	11M	液量			
14-01	54.700	6.178	5.0	0	100	100	空気	100
14-02	54.700	5.067	5.0	0	100	100	空気	100
14-03	54.700	4.835	5.0	0	100	100	空気	0
14-04	54.700	5.073	5.0	0	100	100	空気	5
14-05	54.700	5.090	5.0	0	100	100	空気	10
14-06	54.700	5.046	5.0	0	100	100	空気	50

表 4. 4. 14ラン小型溶解条件

開口率成型部仕上がり状態

ランNO	公称	実証
14-01	100%	100%
14-02	0%	15.7%
14-03	50%	51.4%
14-04	10%	31.0%
14-05	5%	36.0%
14-06	0%	9%

この開口率は、写真拡大×10の開口部両端をグラフ用紙にて柵目数を合計し開口率100%で割った数値である。

今回特に取得しなかった、5%以下の開口率は求められなかった。

表 4.5

開口率

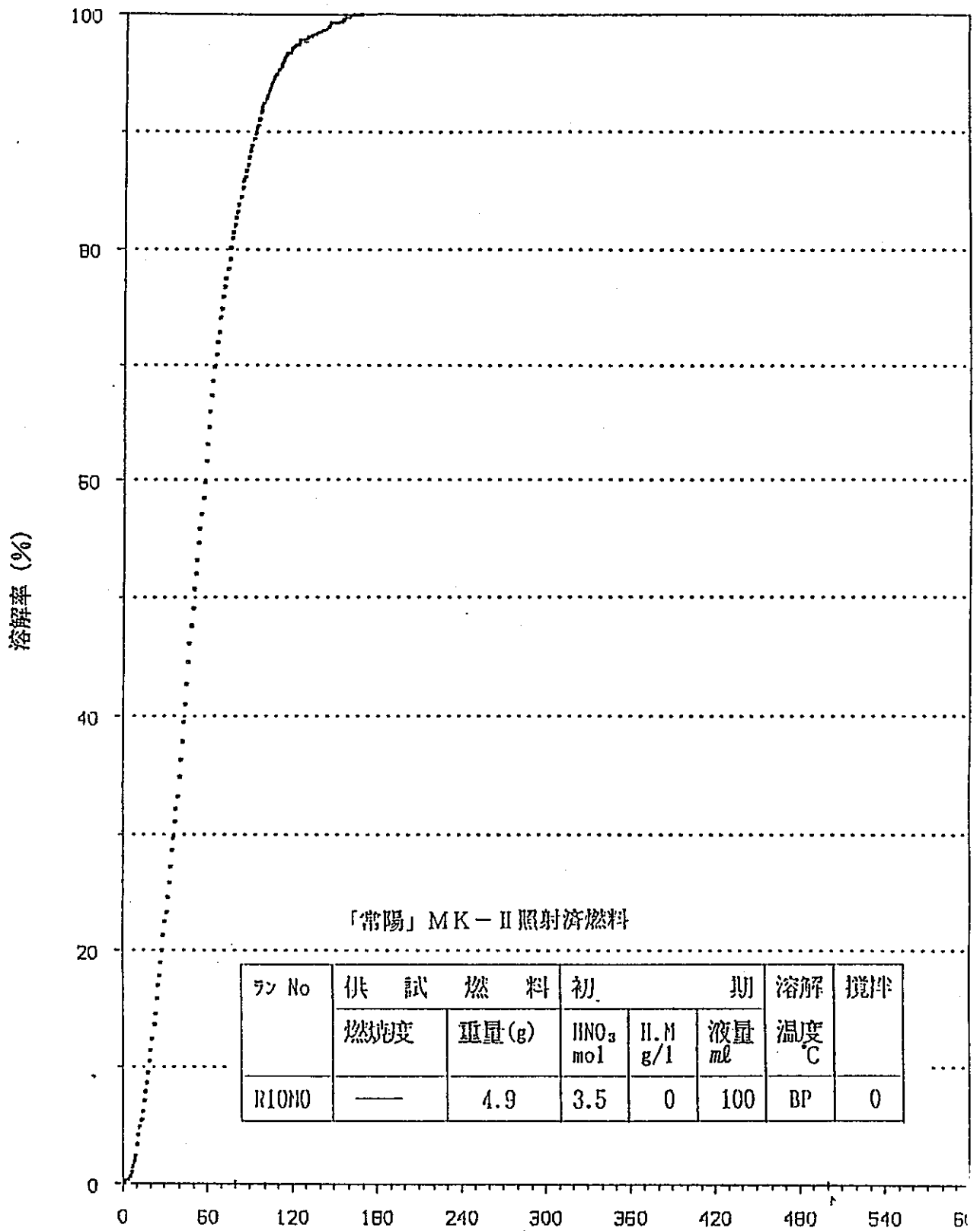


図 4 . 1 溶解特性曲線

時間 (min)

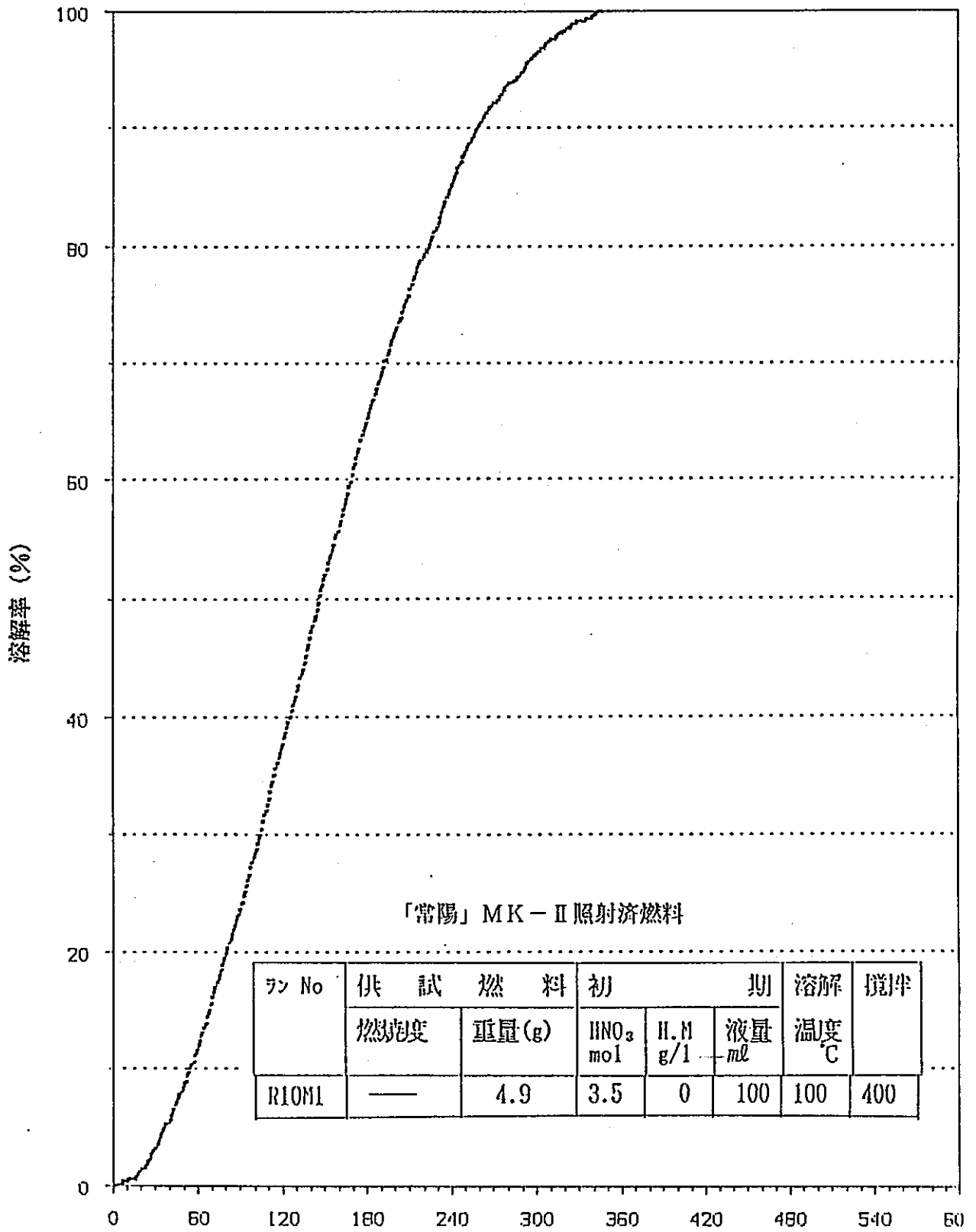


図 4. 2 溶解特性曲線

時間 (min)

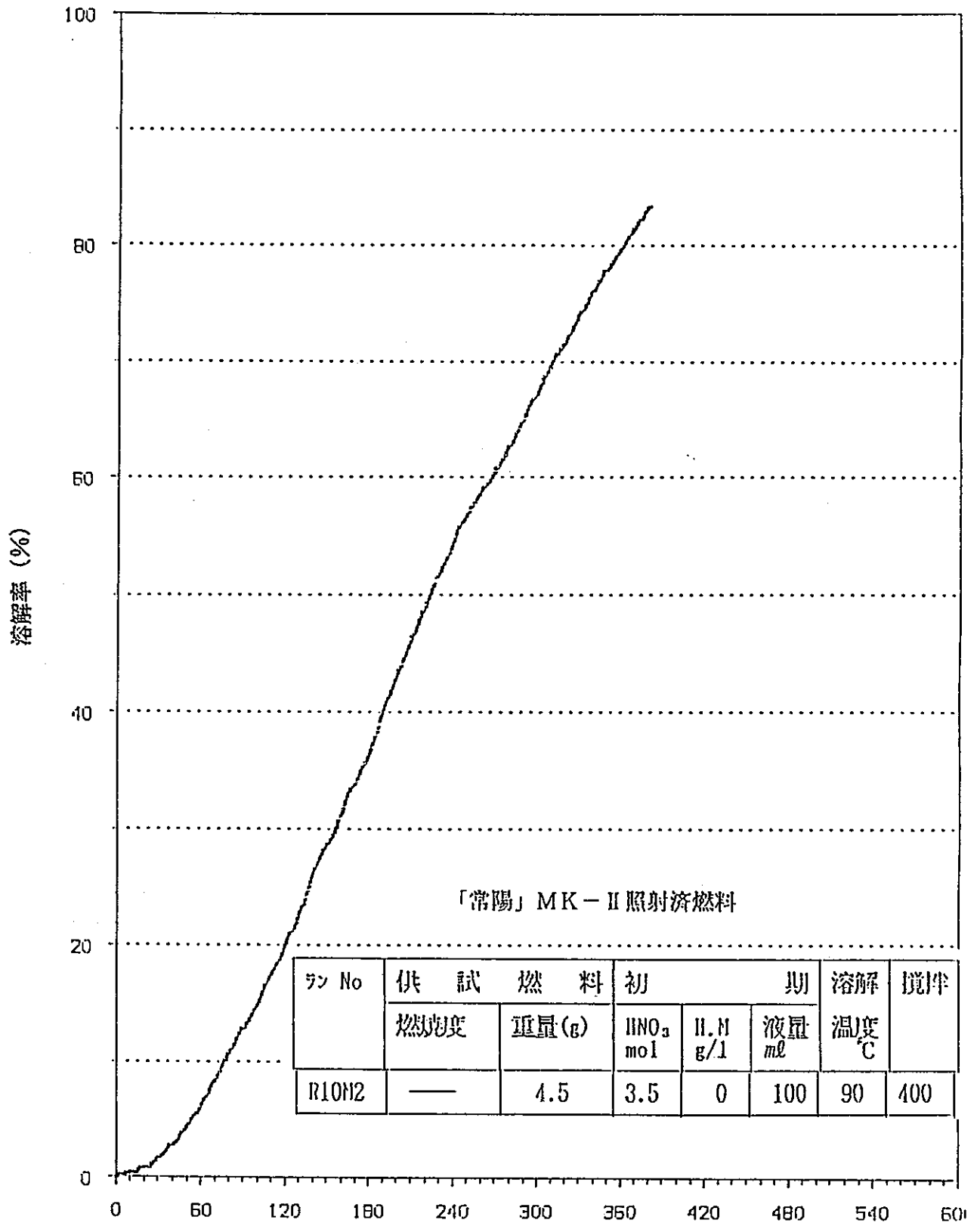


图 4. 3 溶解特性曲线

時間 (min)

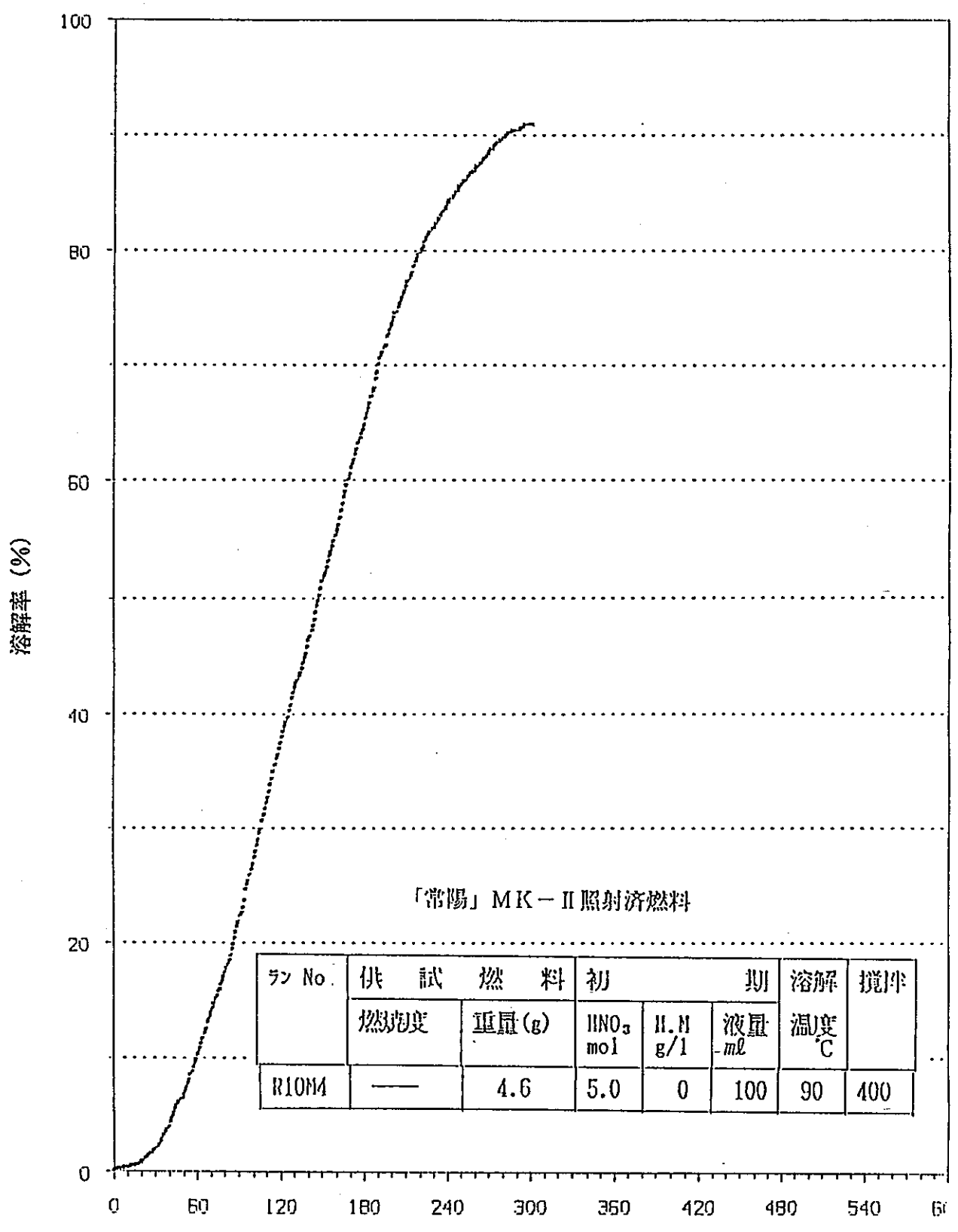


図 4 . 4 溶解率特性生山線 時間 (min)

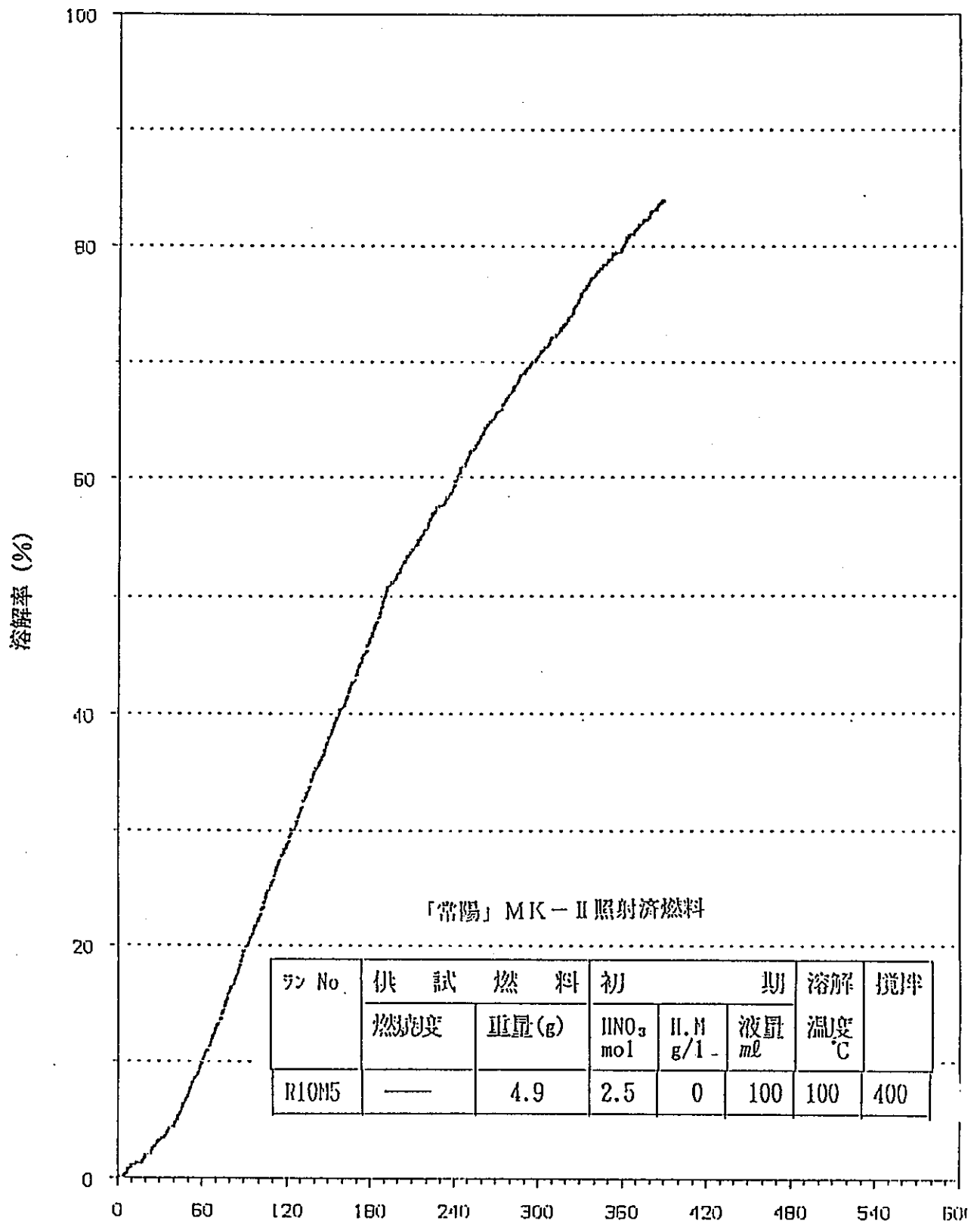


図 4. 5 溶解特性曲線

時間 (min)

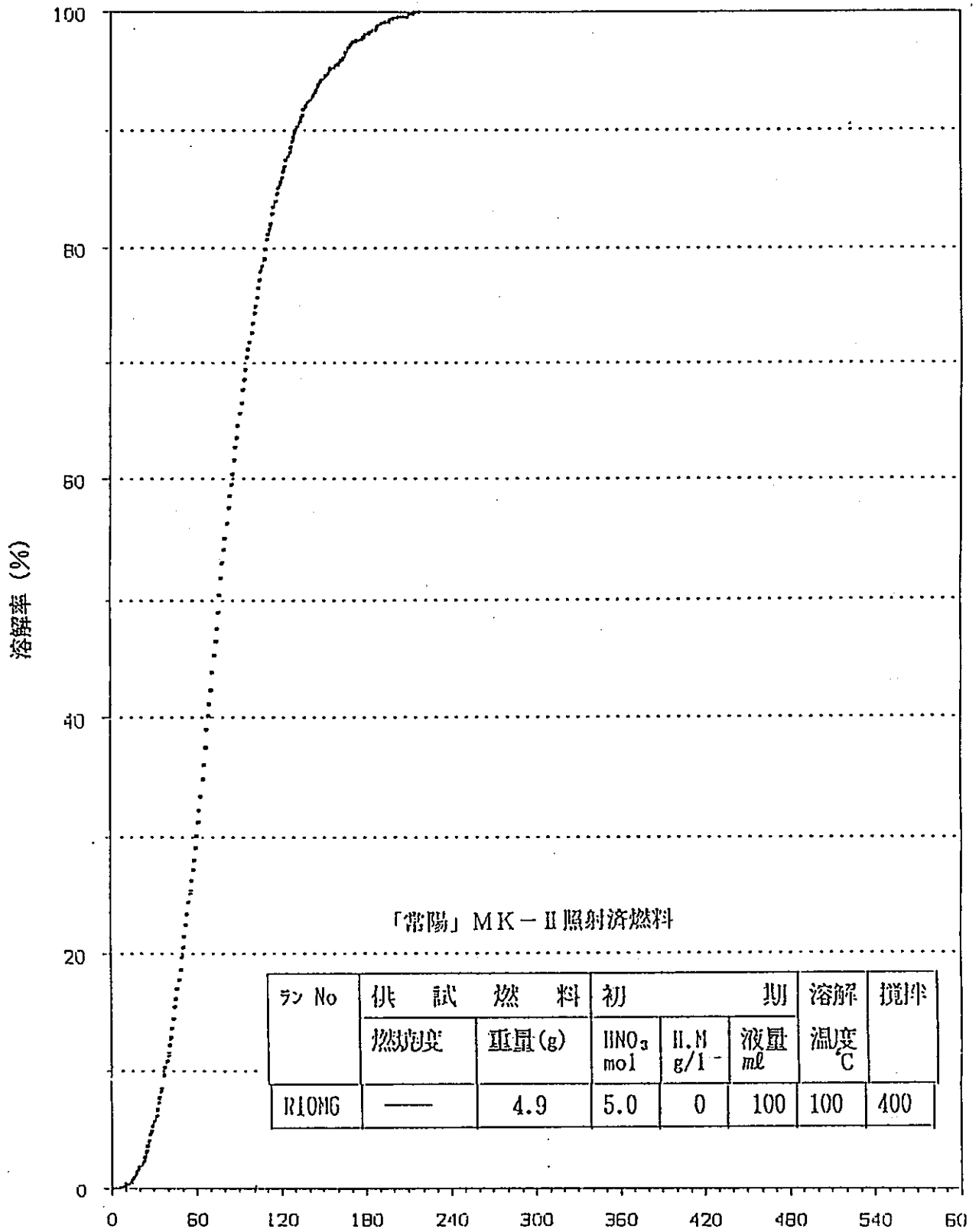


図 4. 6 溶解特性曲線 時間 (min)

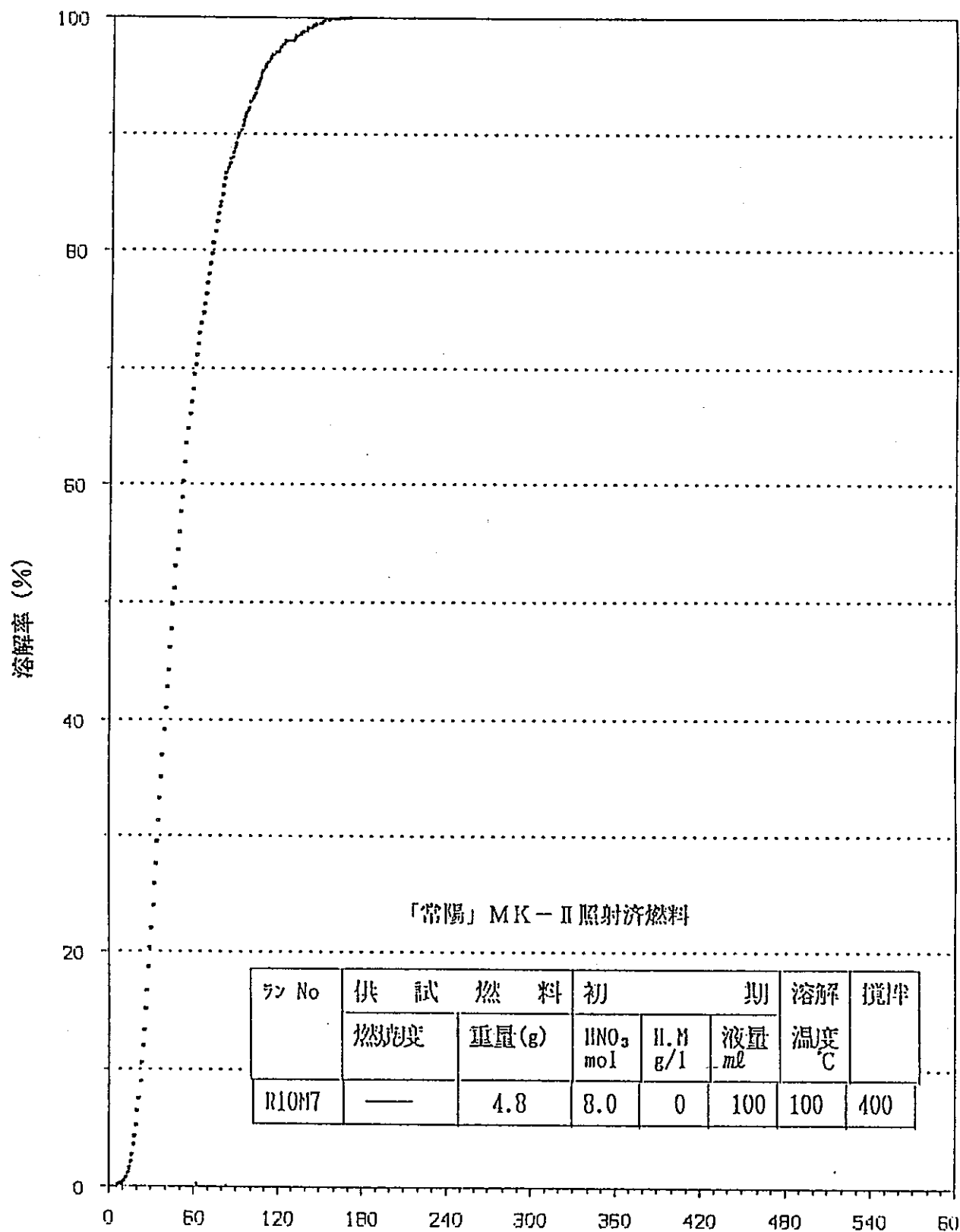


図 4. 7 溶解特性曲線 時間 (min)

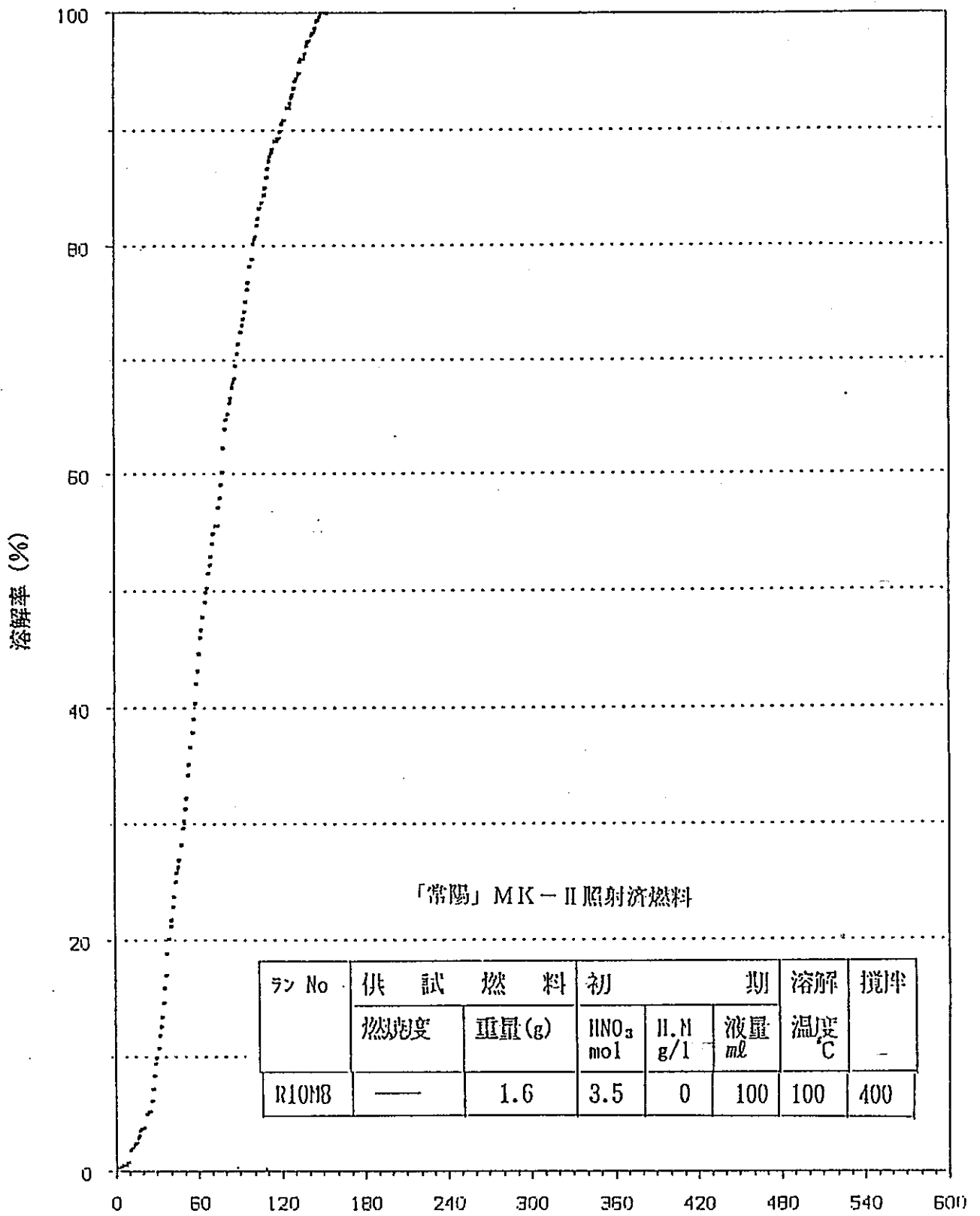


図 4. 8 溶解特性曲線 時間 (min)

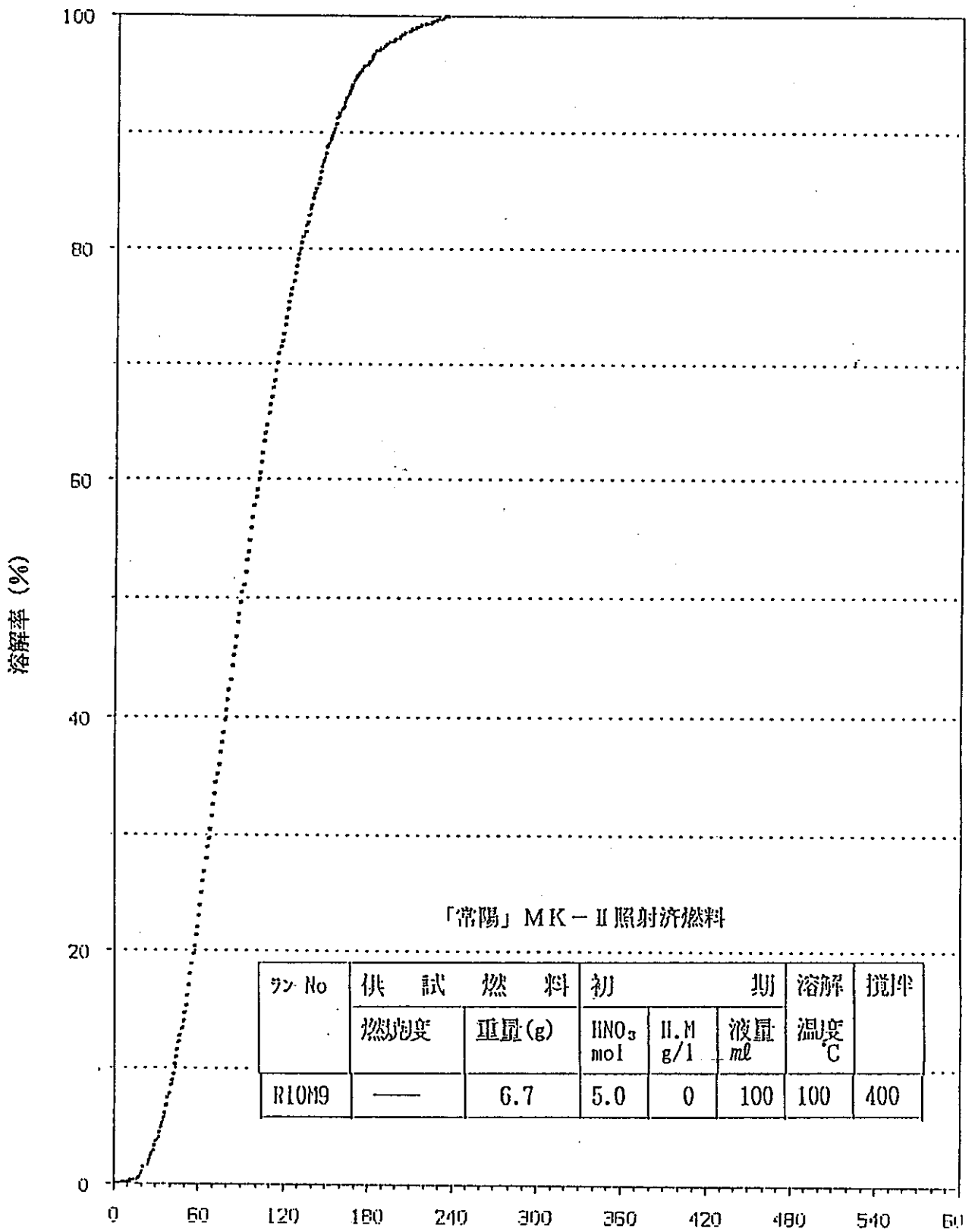


図 4. 9 溶解特性曲線

時間 (min)

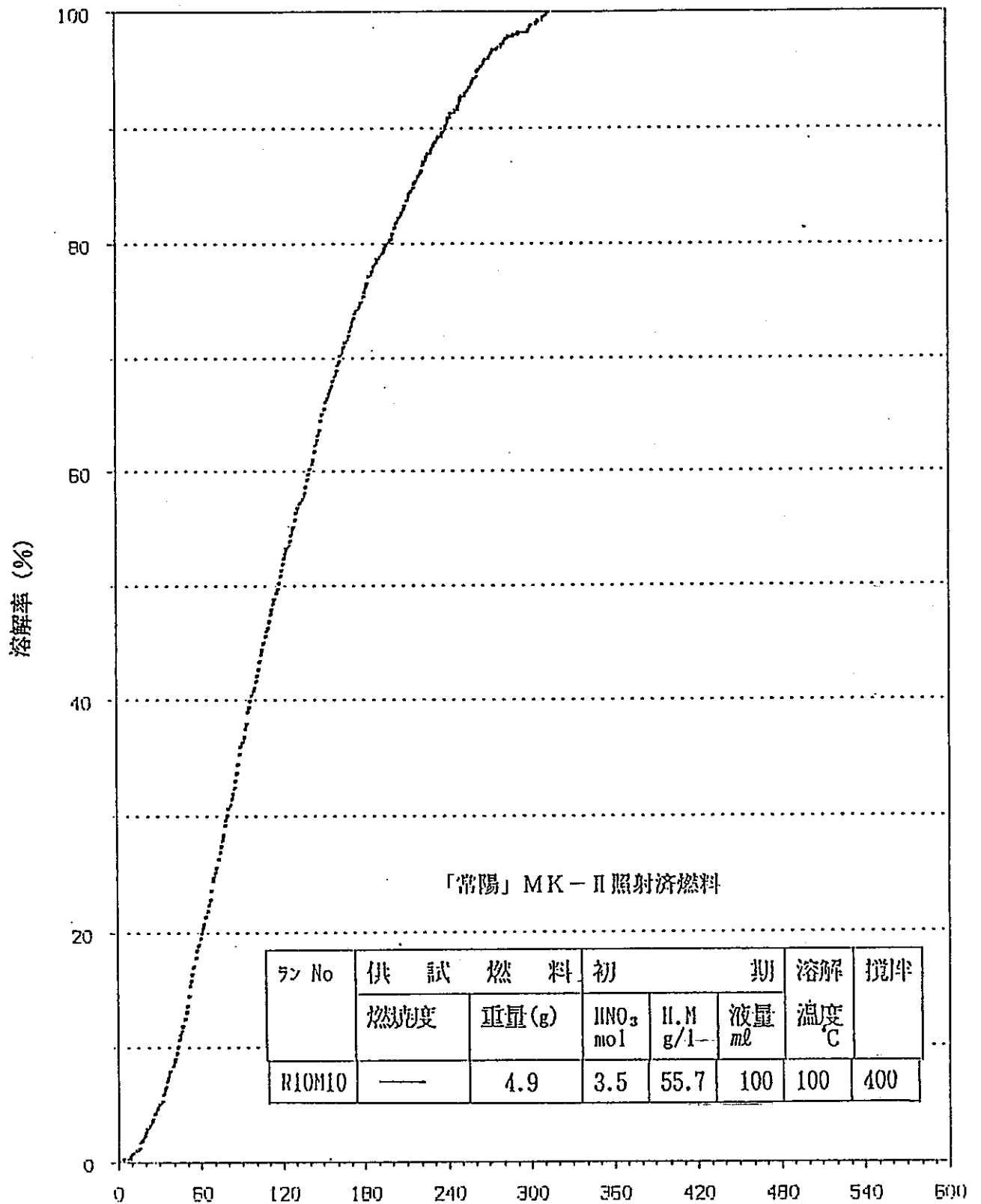


図 4 . 1 0 溶解特性曲線

時間 (min)

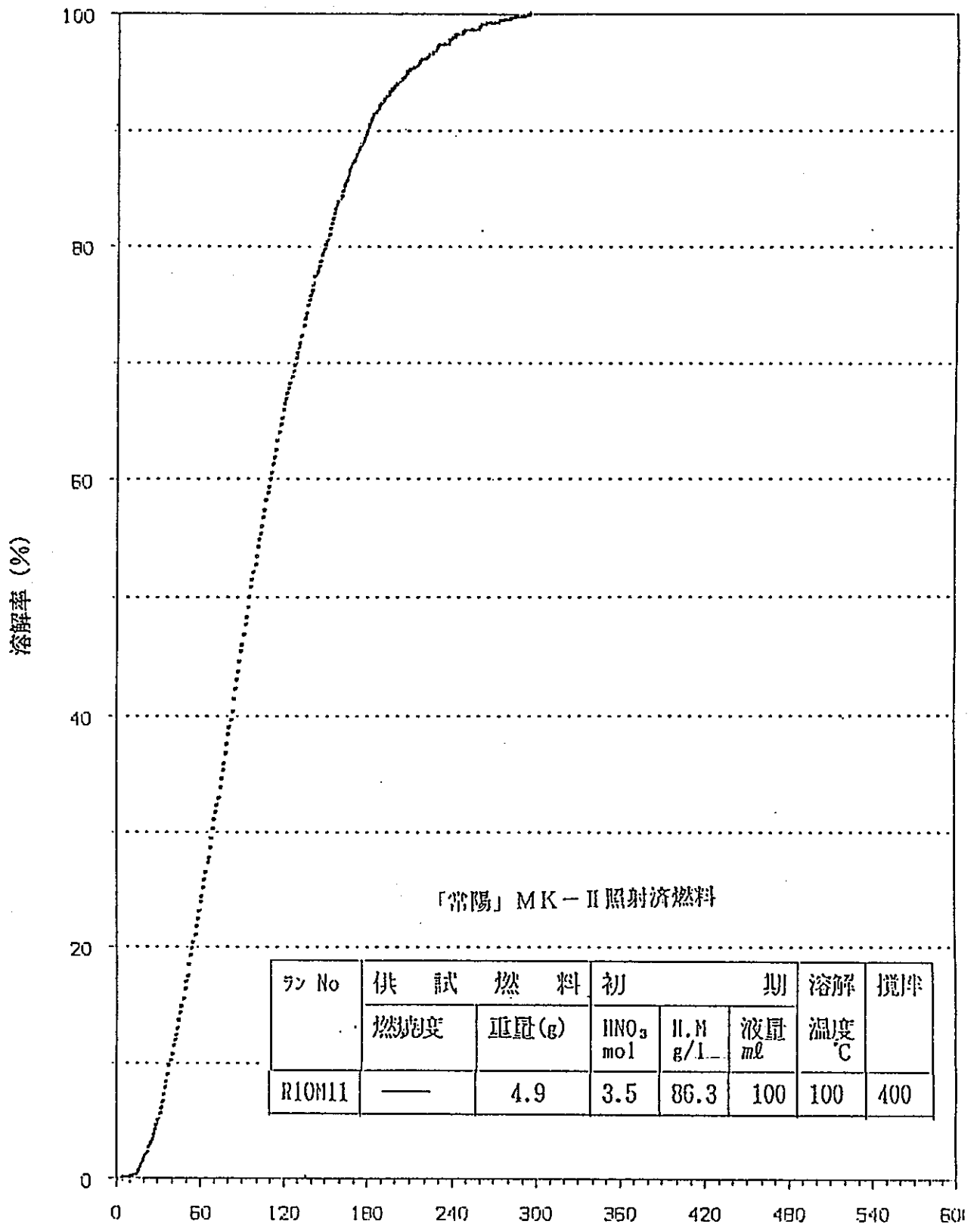


図 4. 1 1 溶解特性曲線 時間 (min)

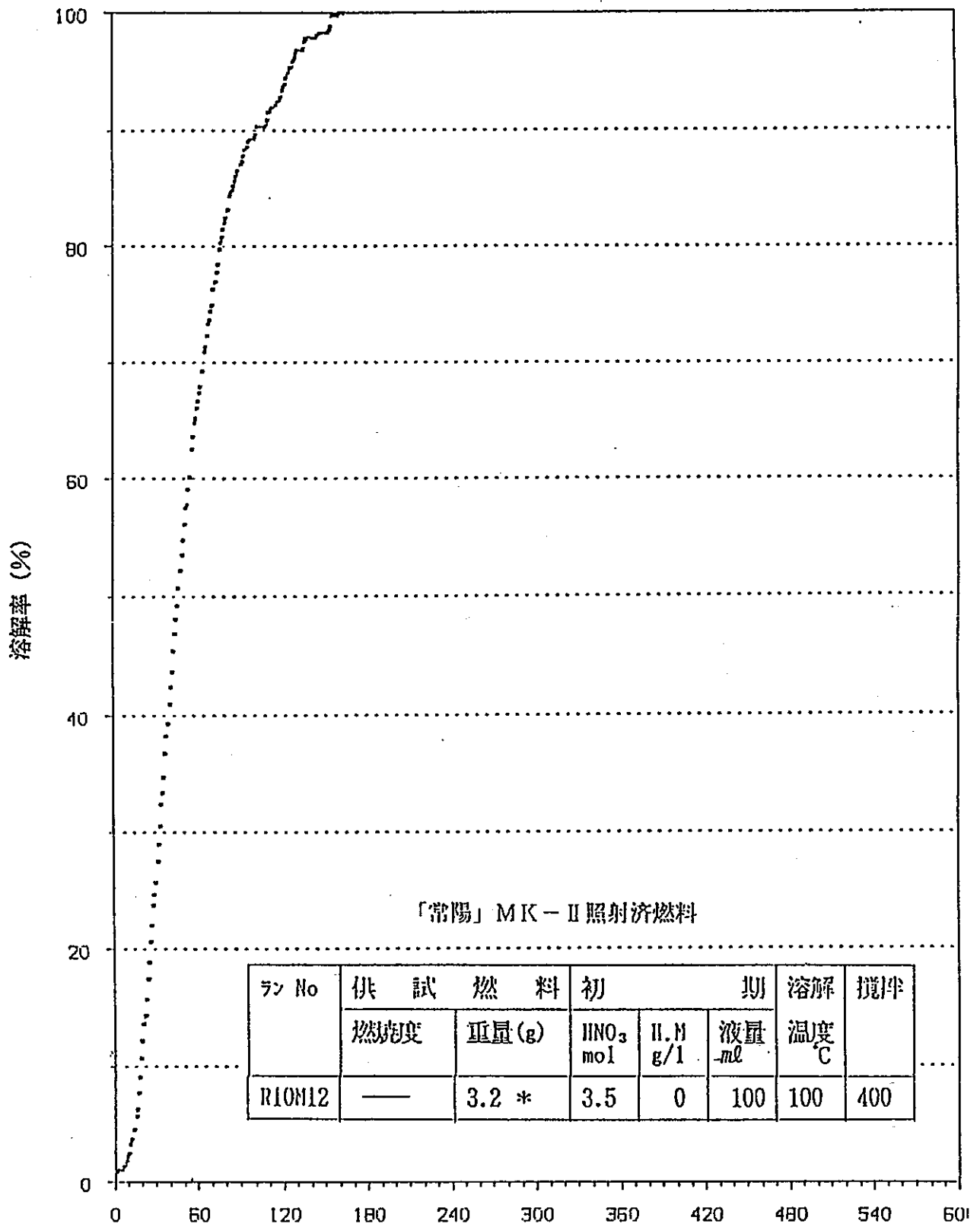


図 4 . 1 2 溶解特性曲線 時間 (min)

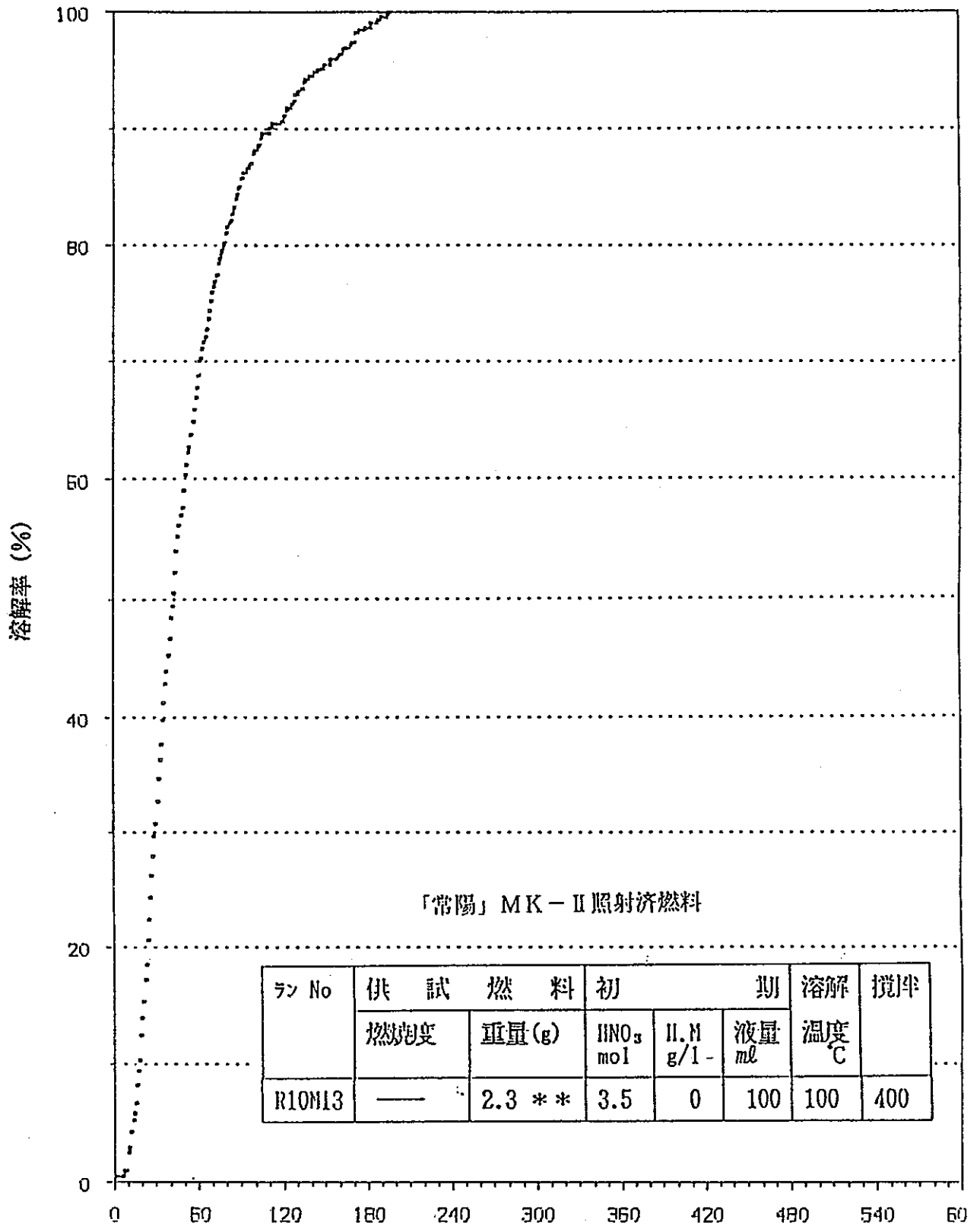


図 4. 1 3 溶解特性曲線 時間 (min)

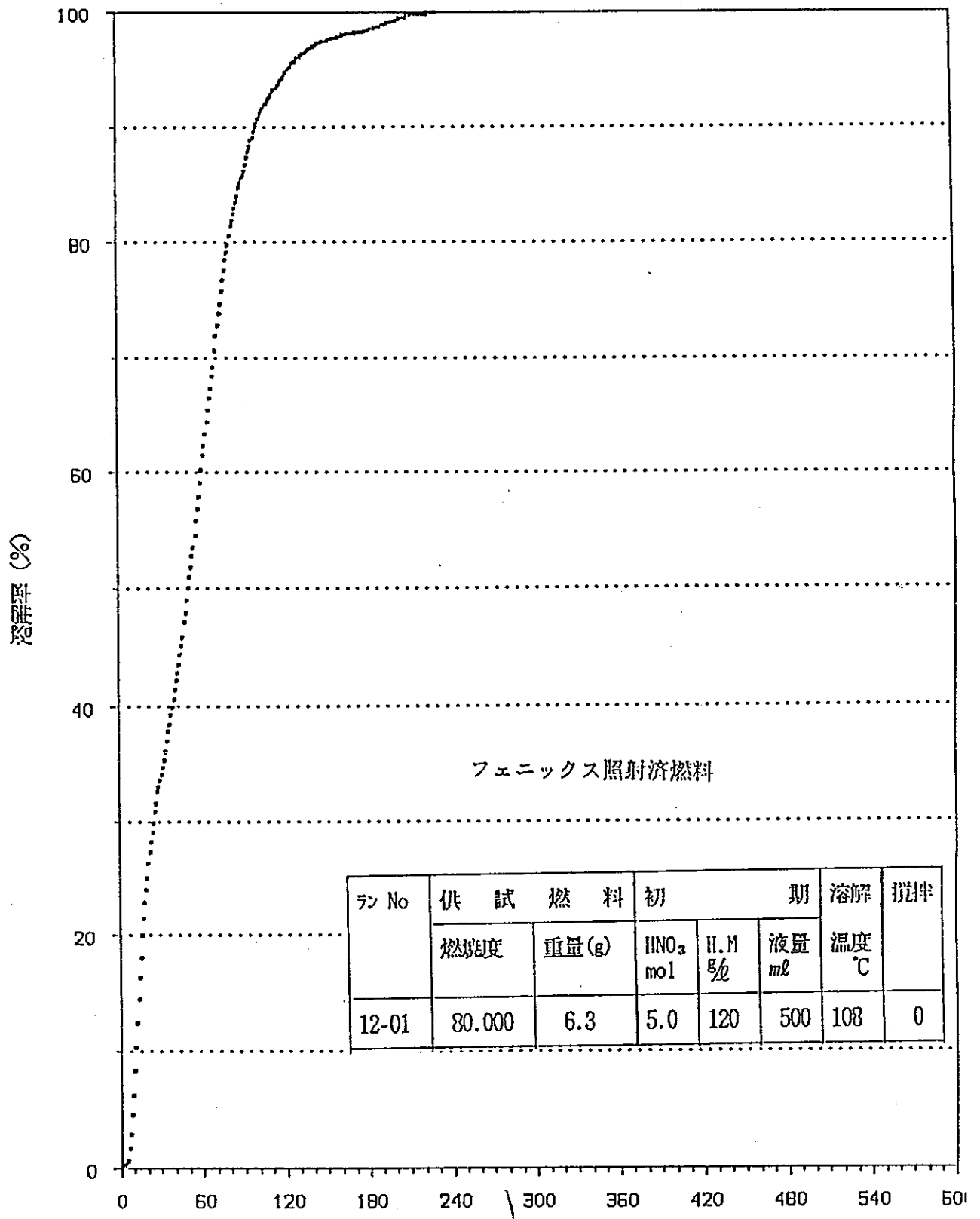


図 4 . 1 4 溶解特性生山線 溶解時間 (min)

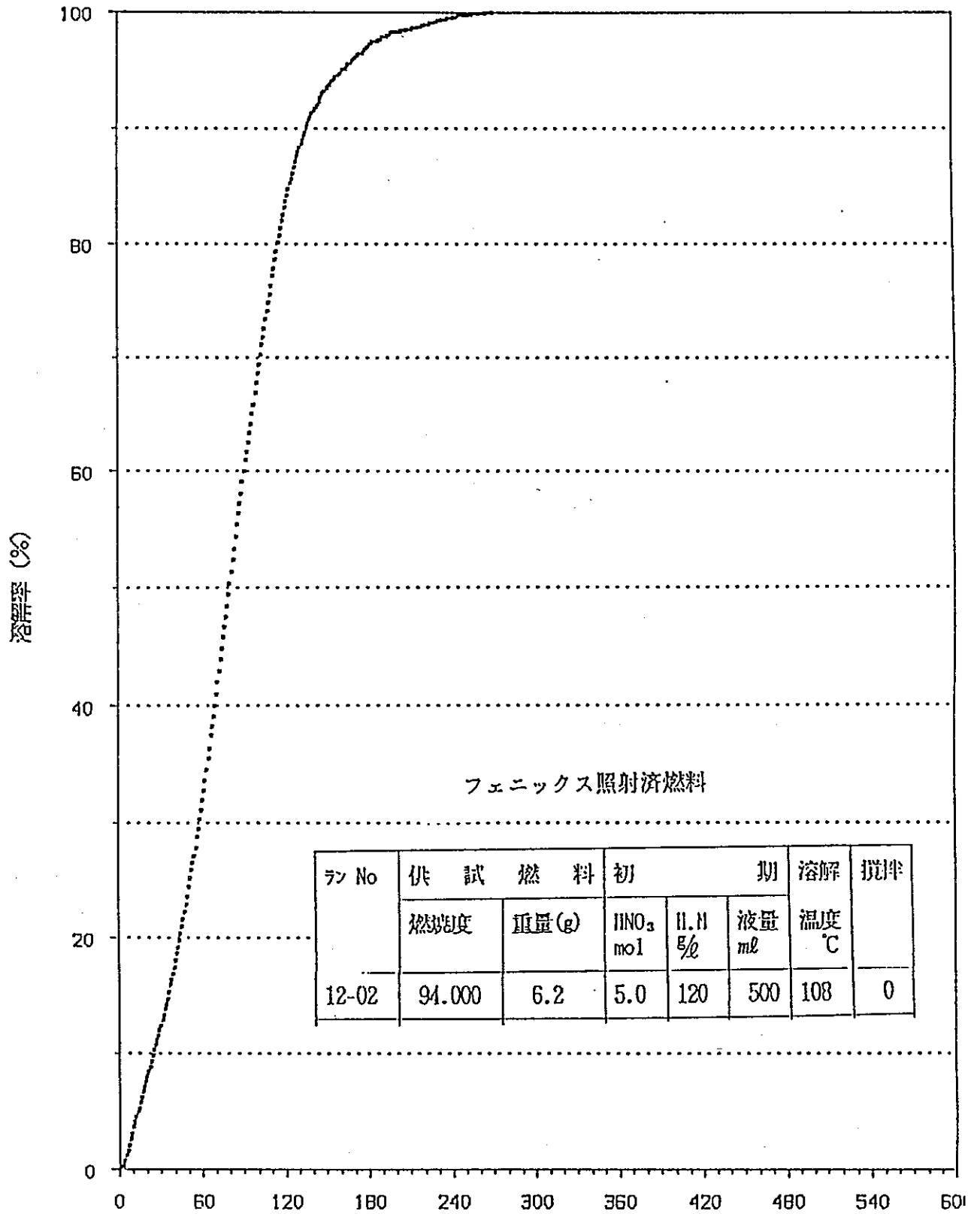


図 4 . 1 5 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

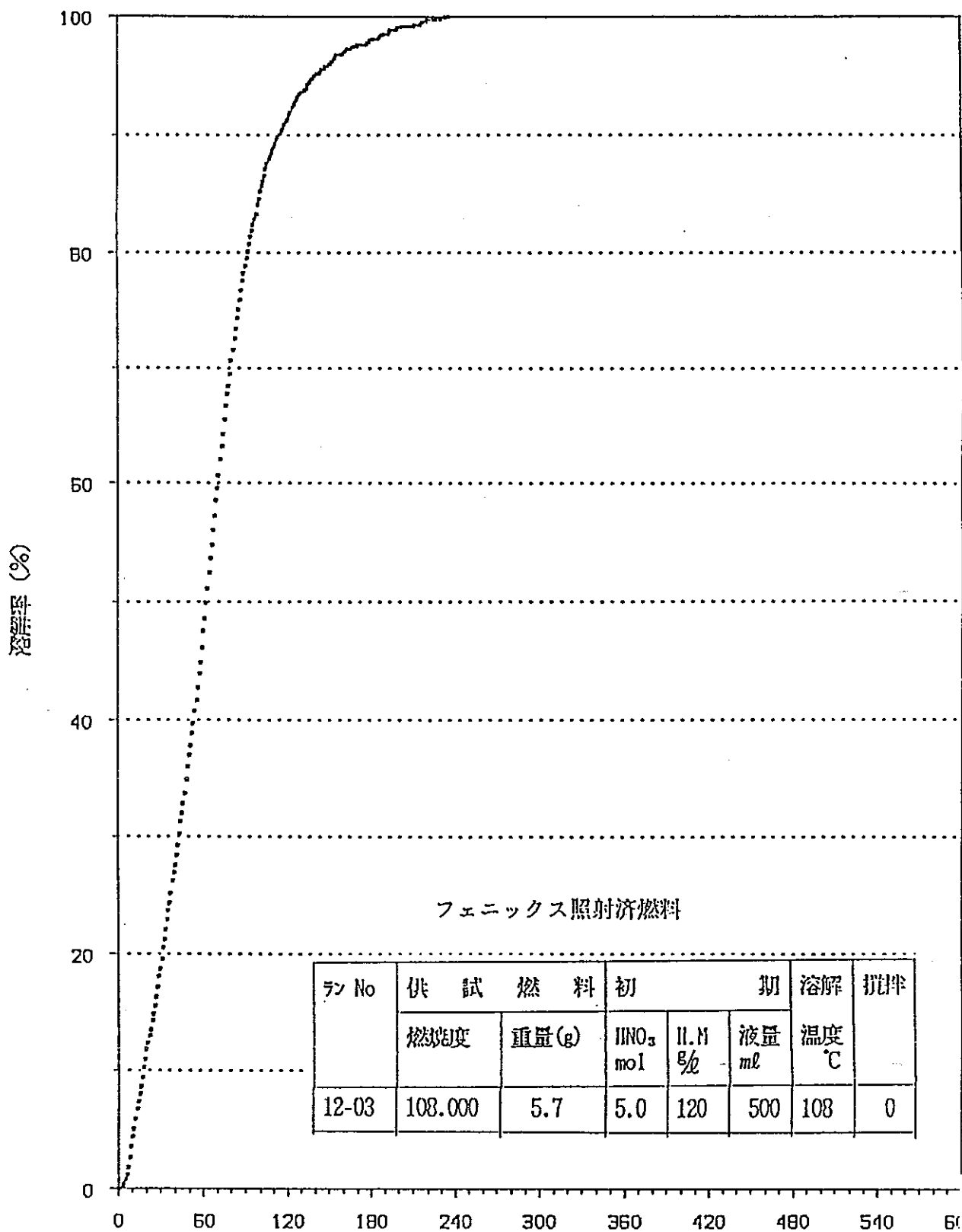


図 4 . 1 6 溶解率の経時変化曲線 溶解時間 (min)

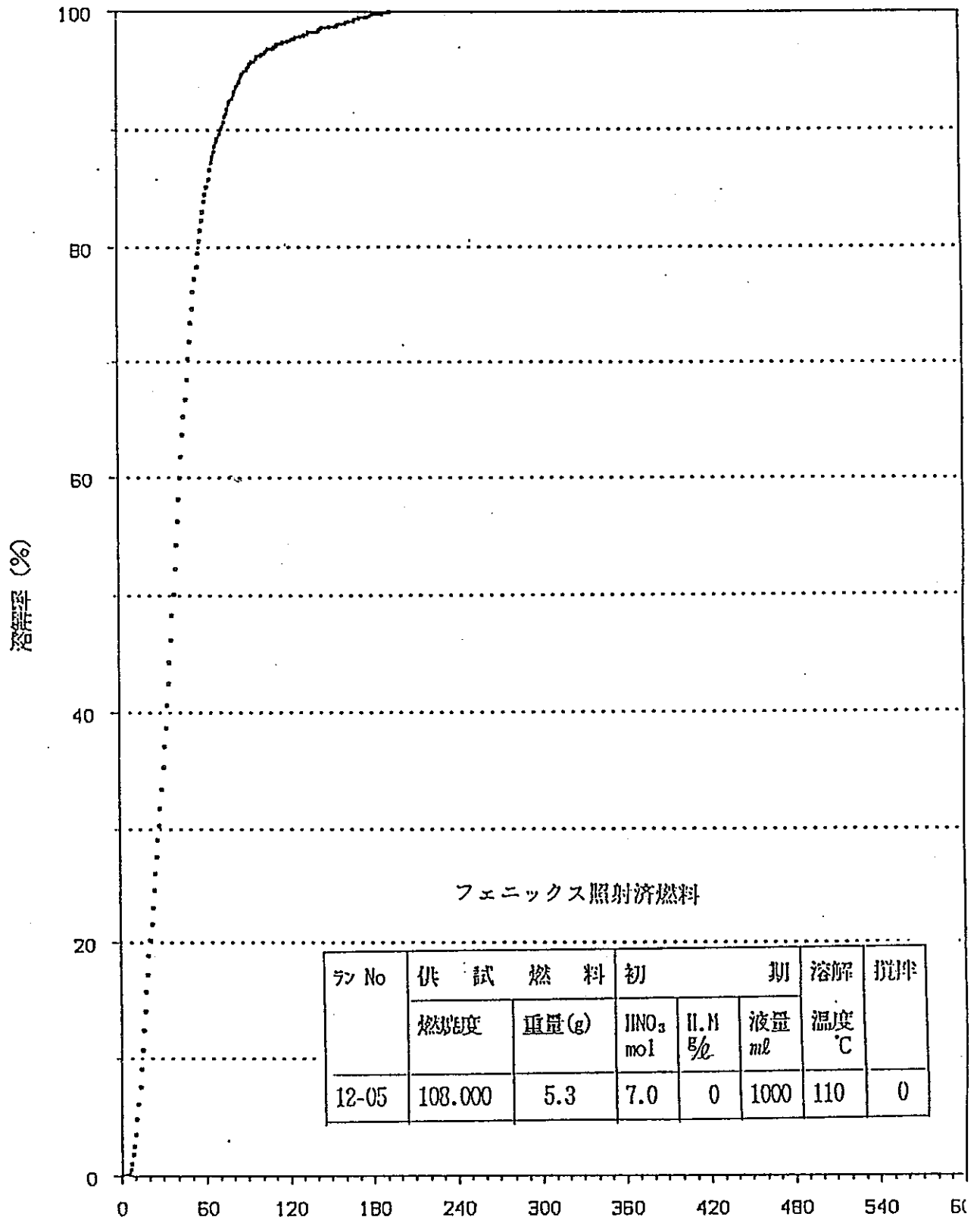


図 4. 1 7 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

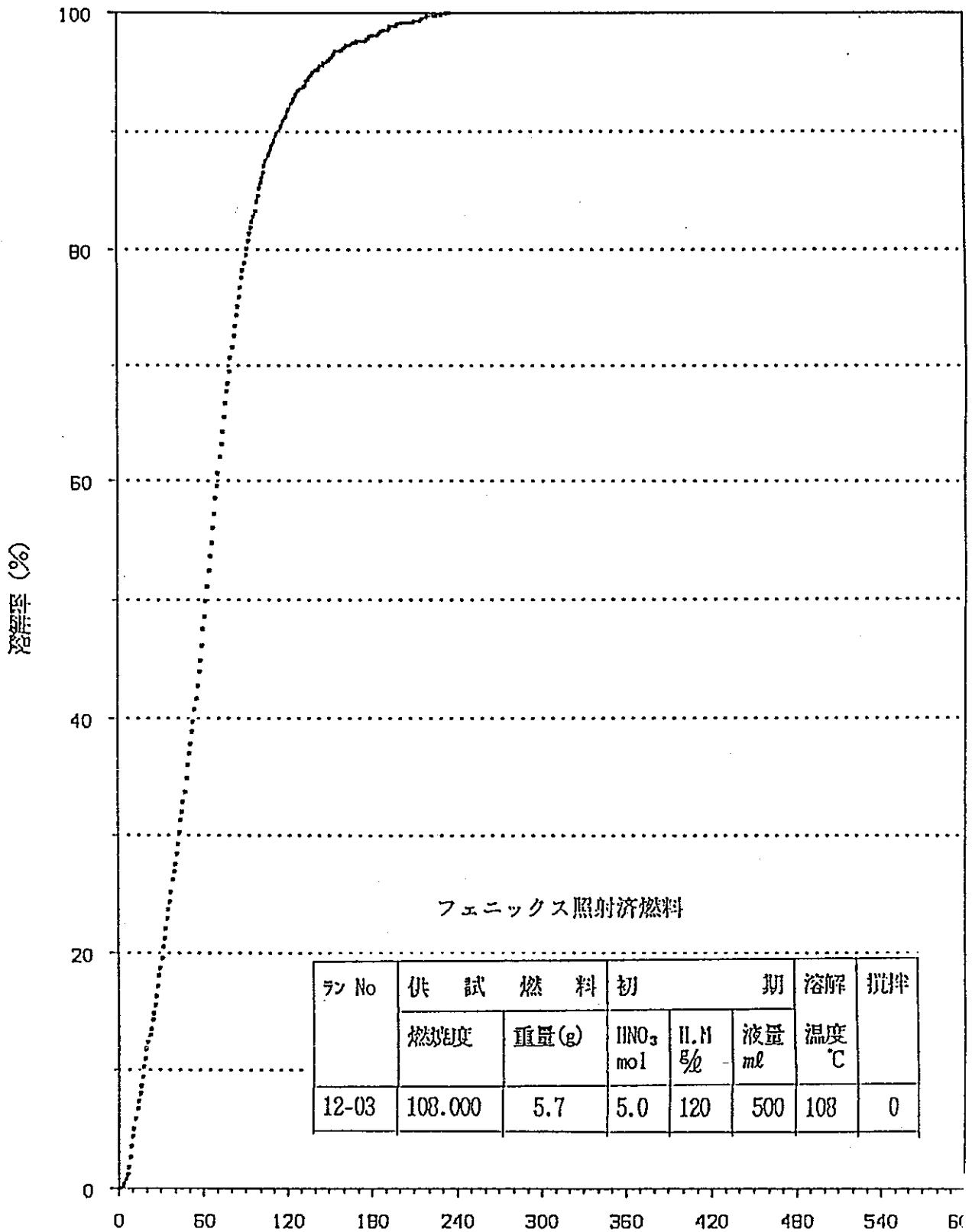


図 4 . 1 6 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

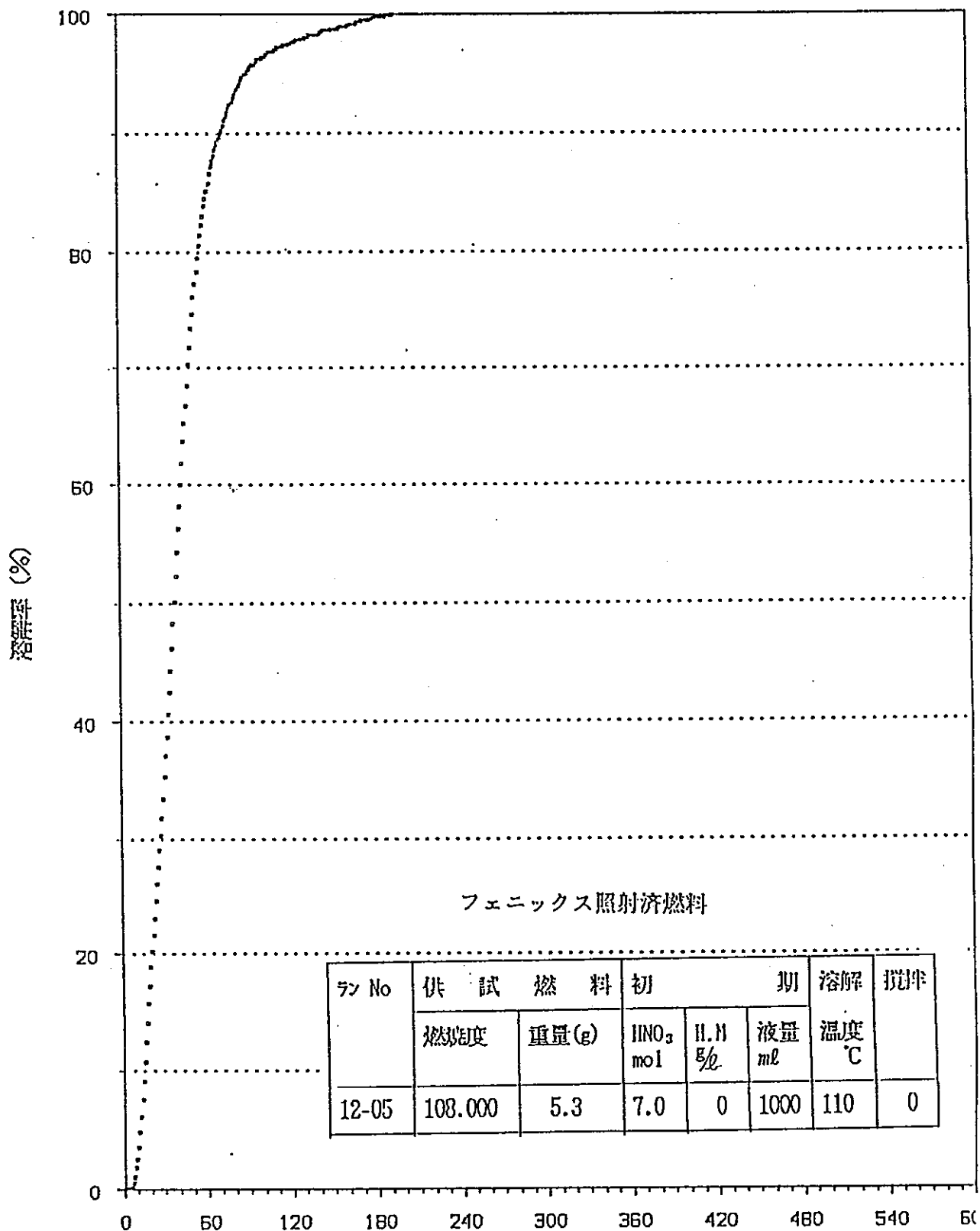


図 4. 1 7 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

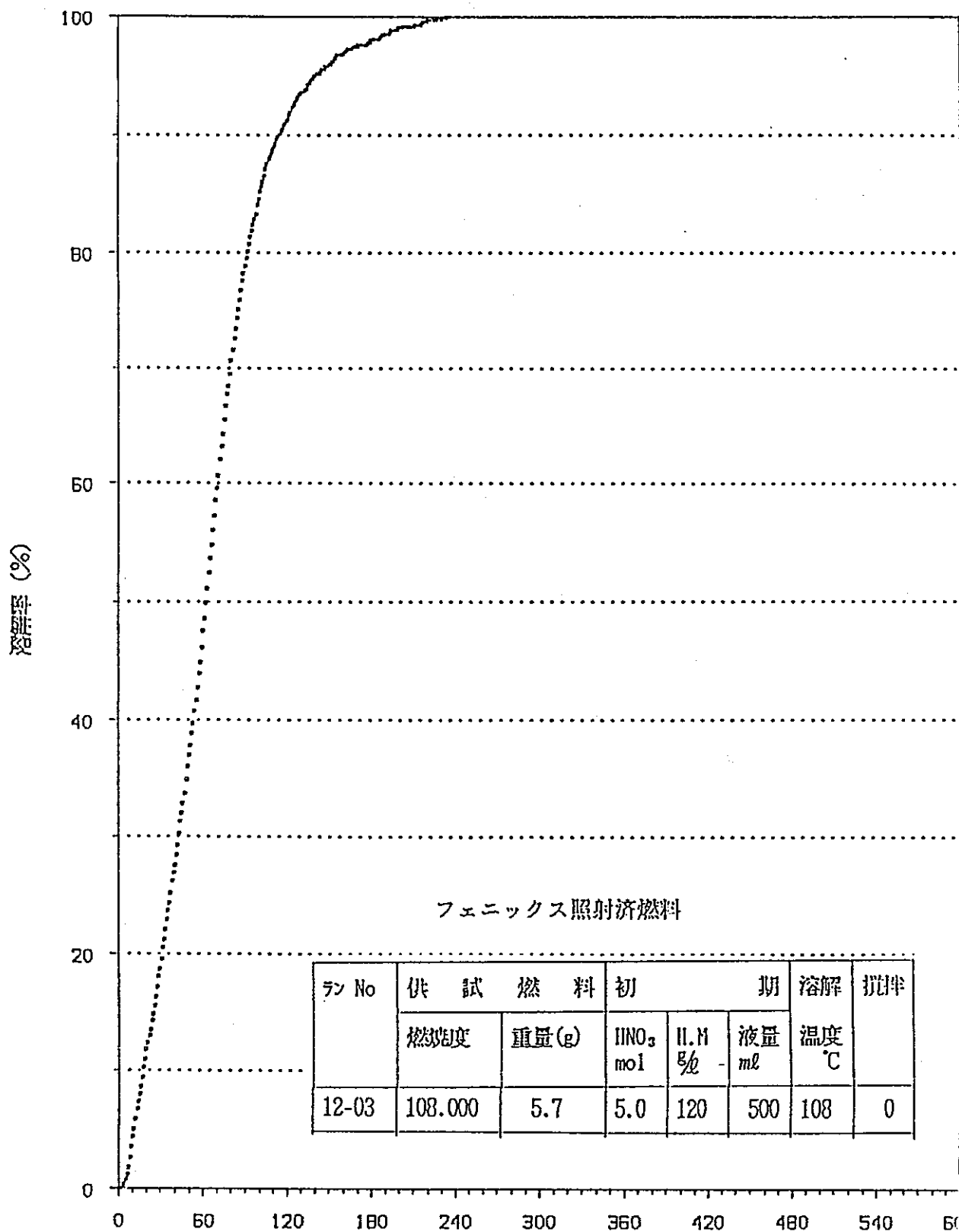


図 4 . 1 6 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

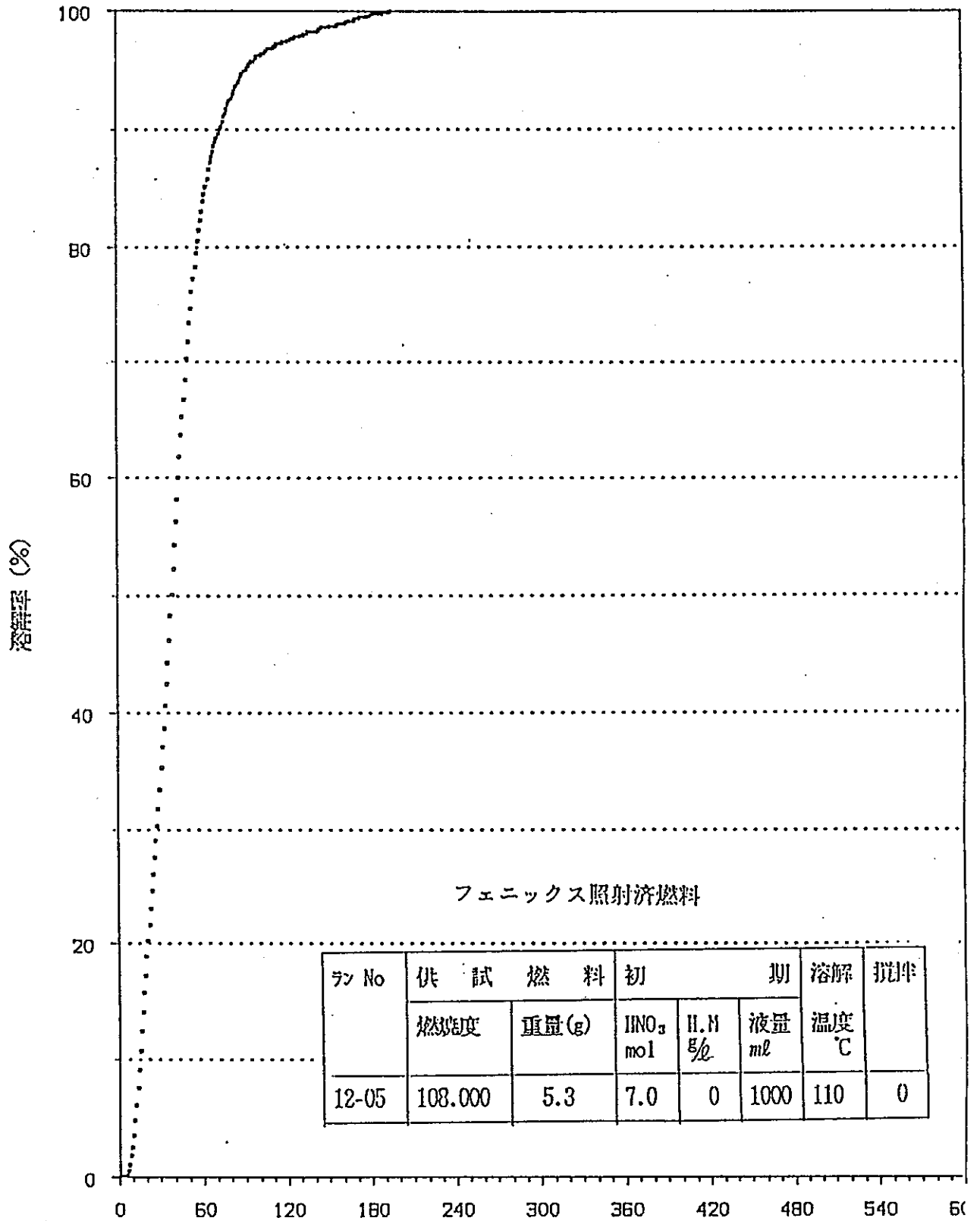


図 4. 1 7 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

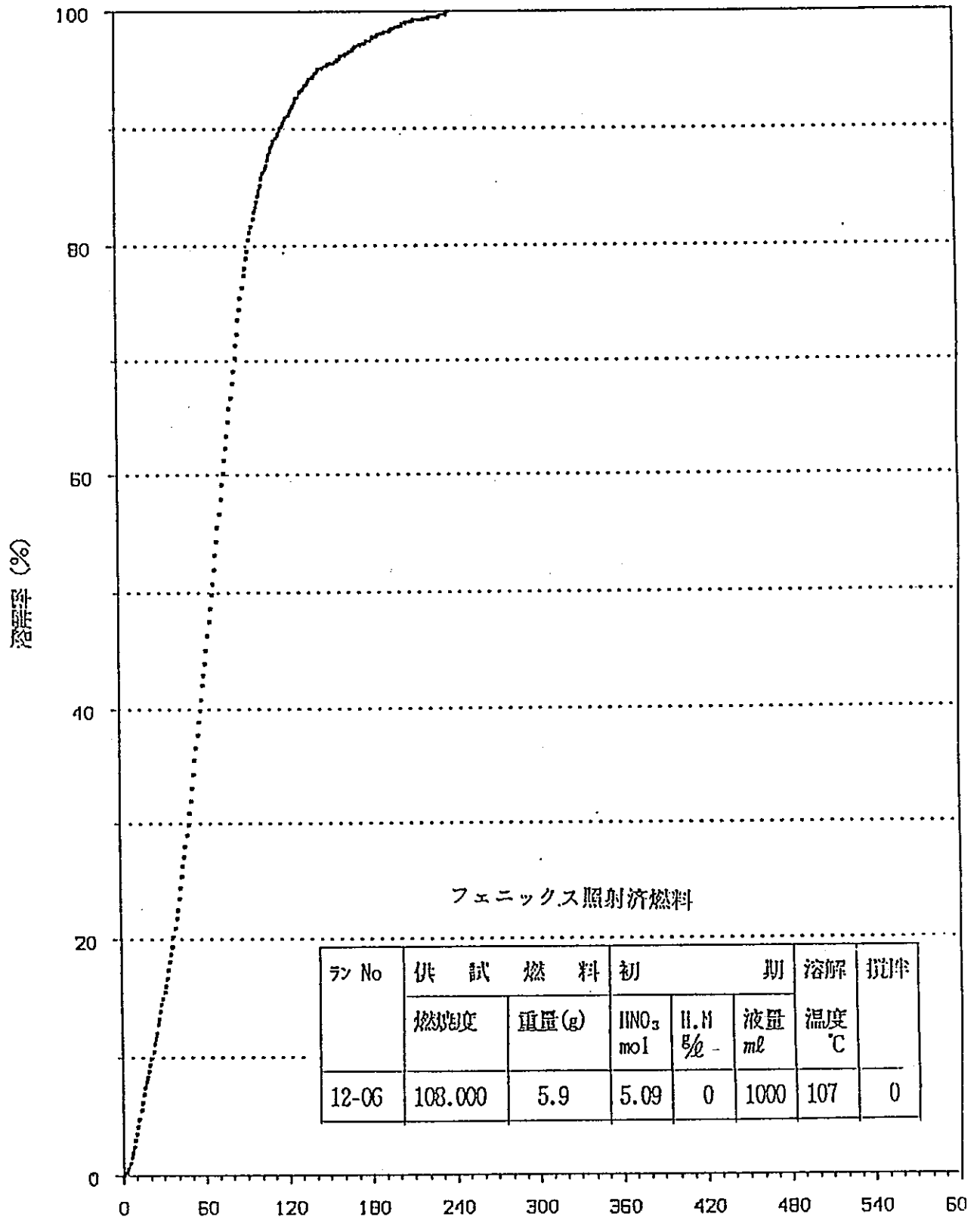


図 4 . 1 8 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

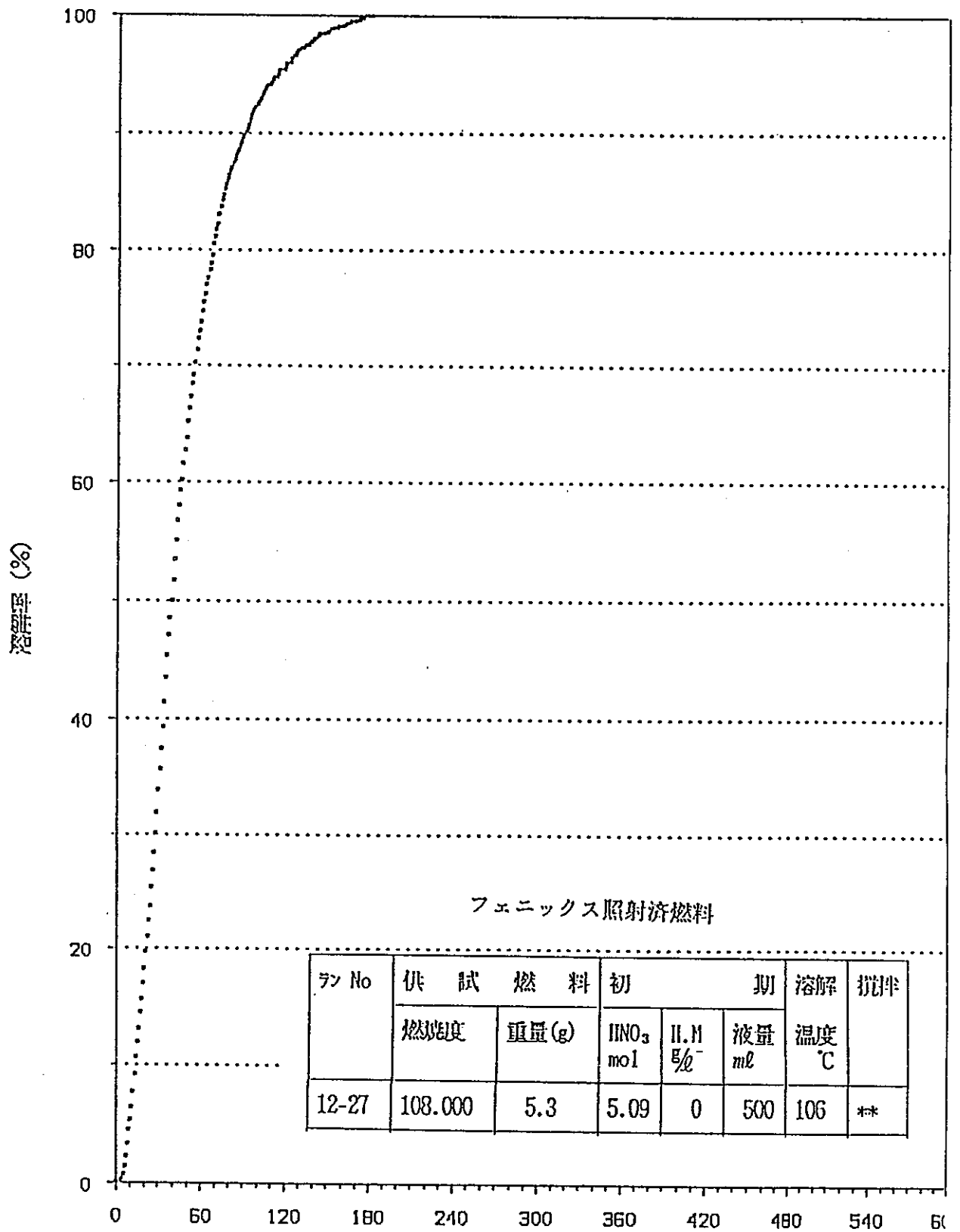


図 4 . 1 9 溶解特性による 溶解時間 (min)

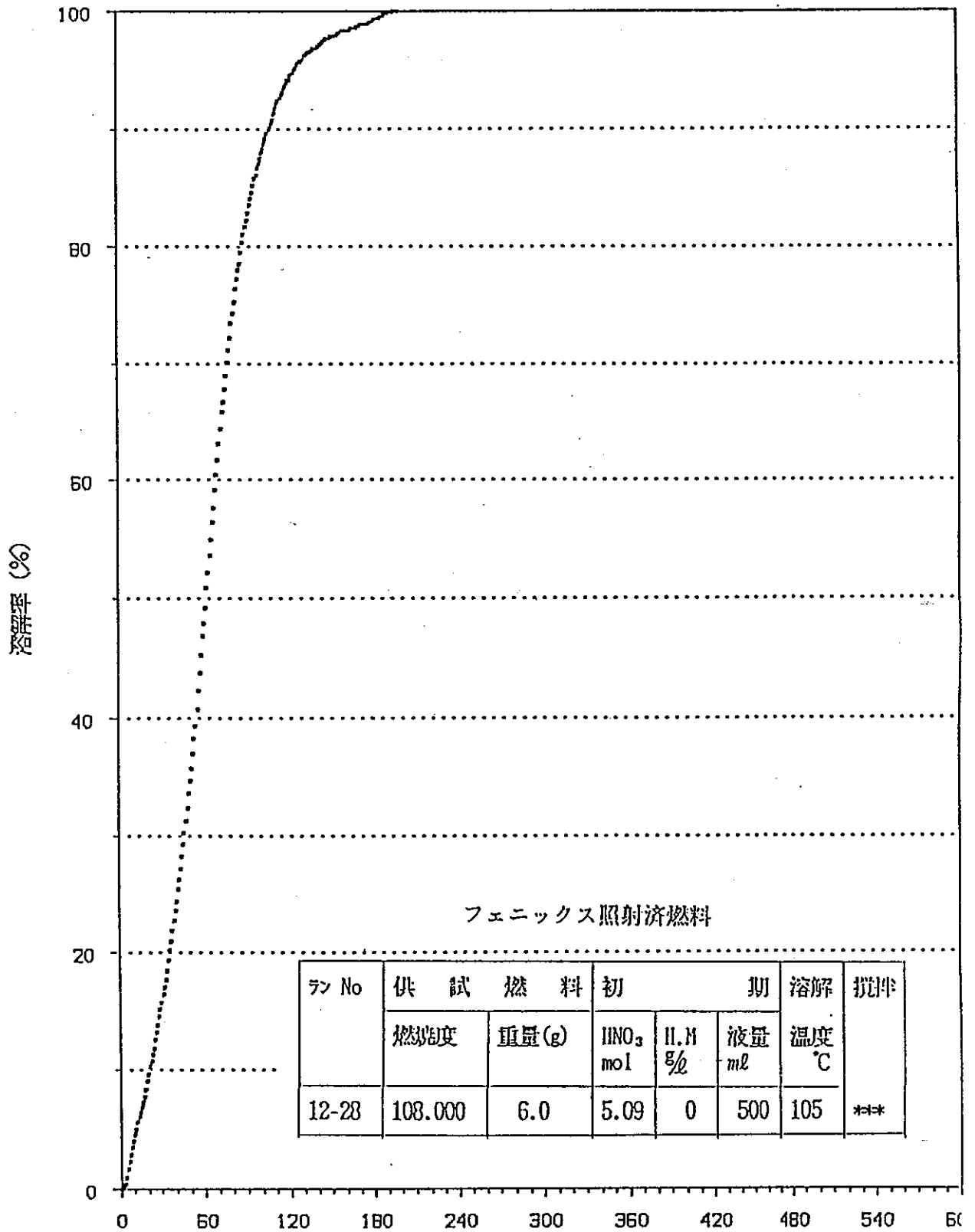


図 4 . 2 0 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

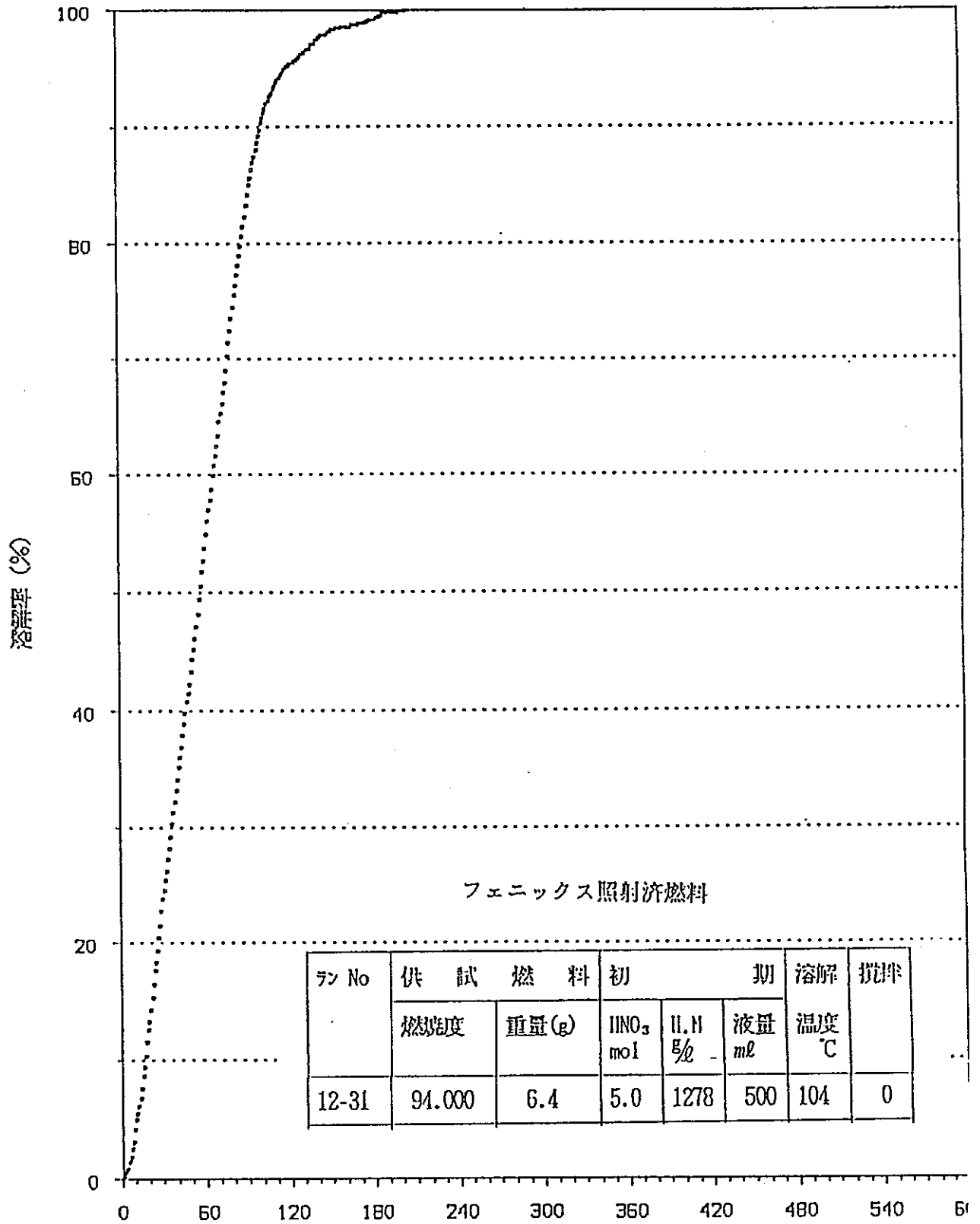


図 4 . 2 1 溶解特性生山線 溶解時間 (min)

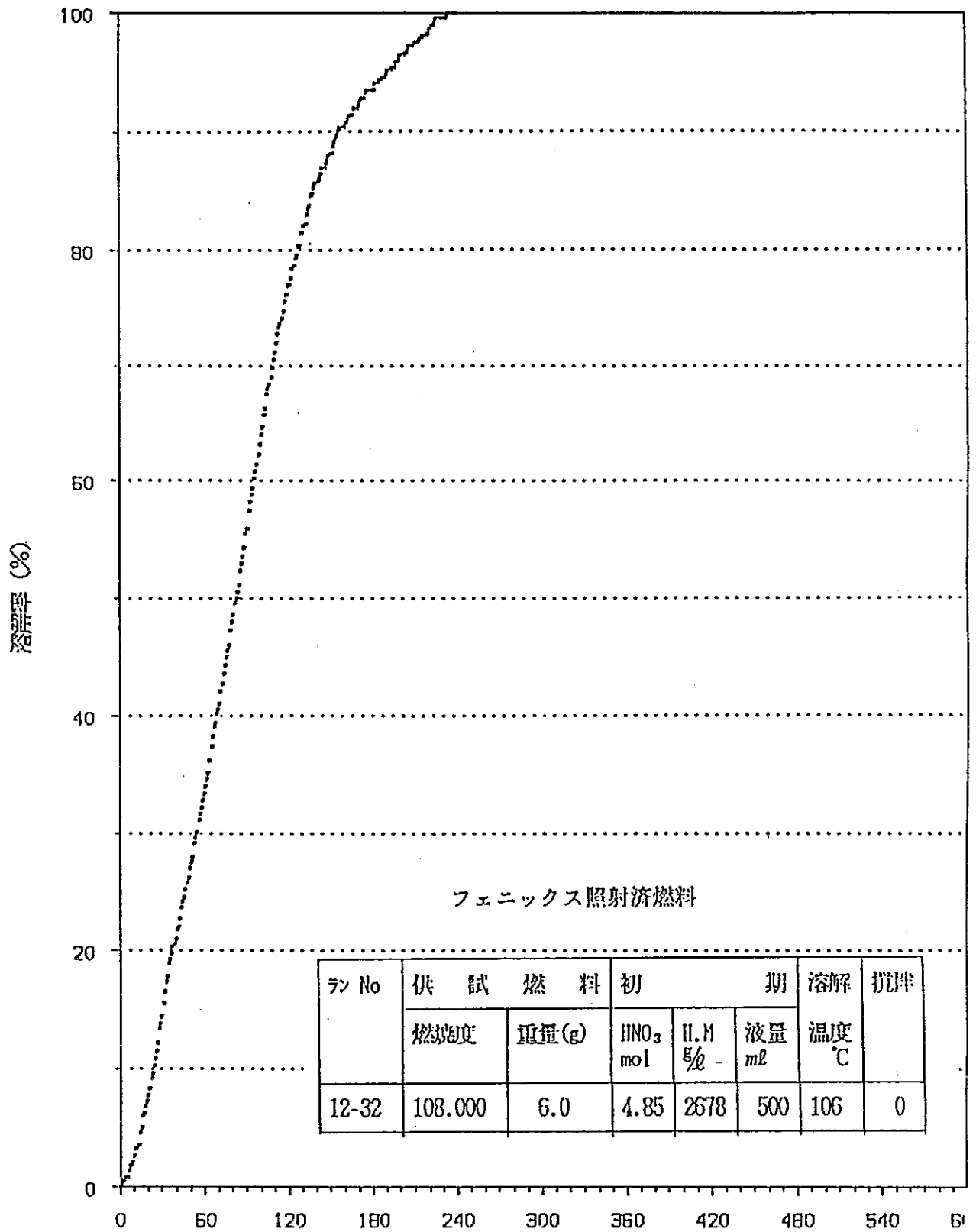


図 4 . 2 2 (1) 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

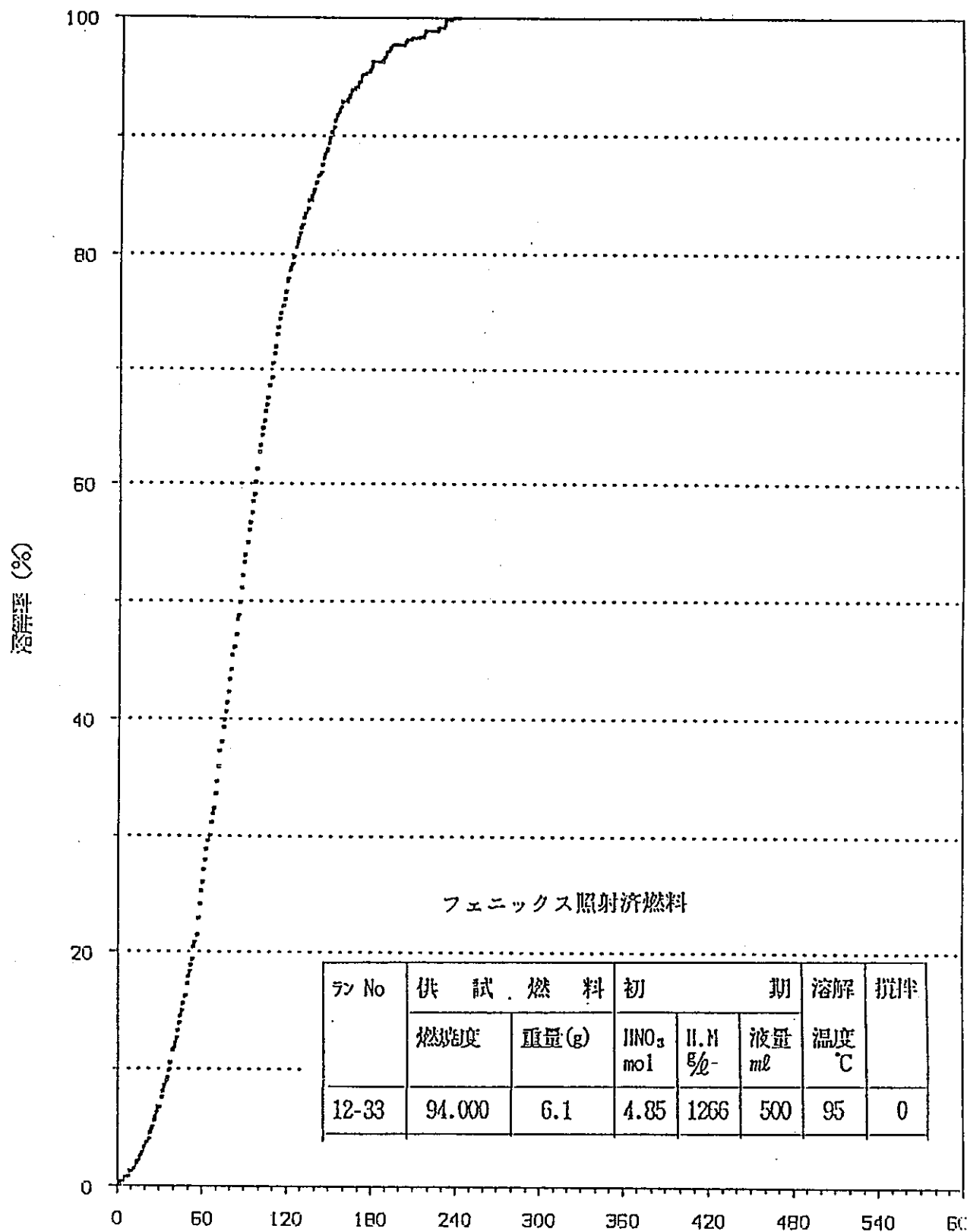


図 4 . 2 2 (2) 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

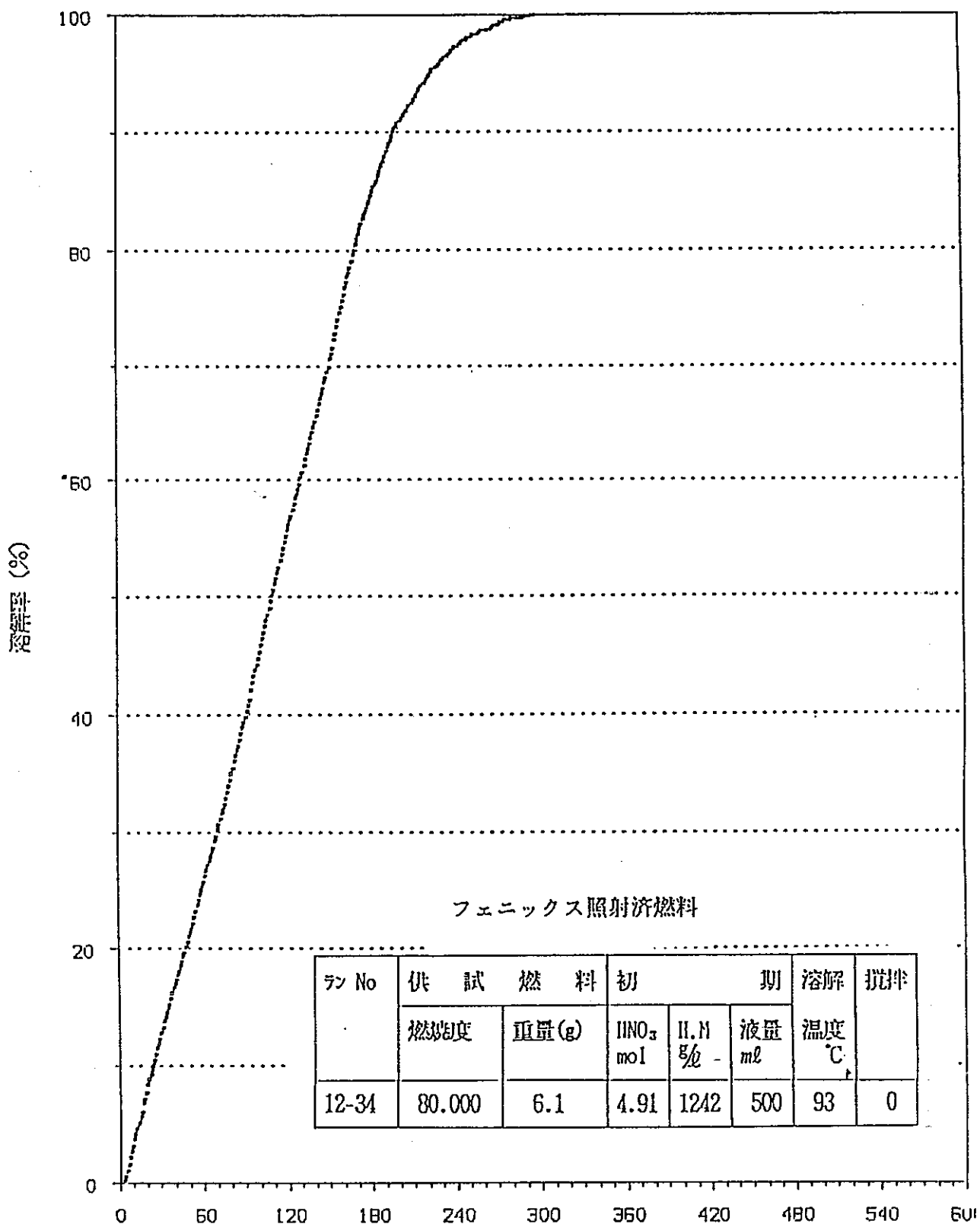


図 4. 2 3 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

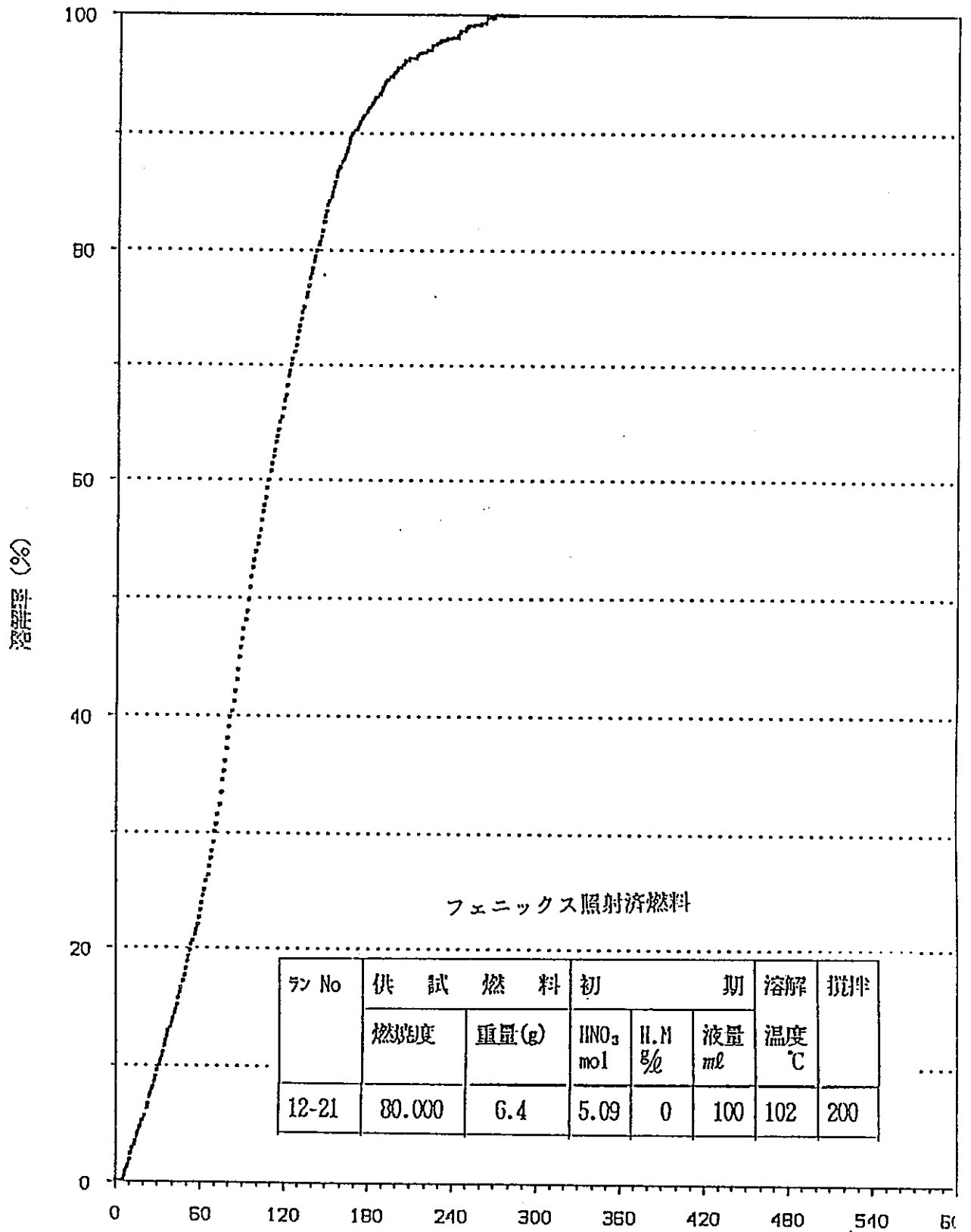


図 4 . 2 4 溶解率 (%) と 溶解時間 (min)

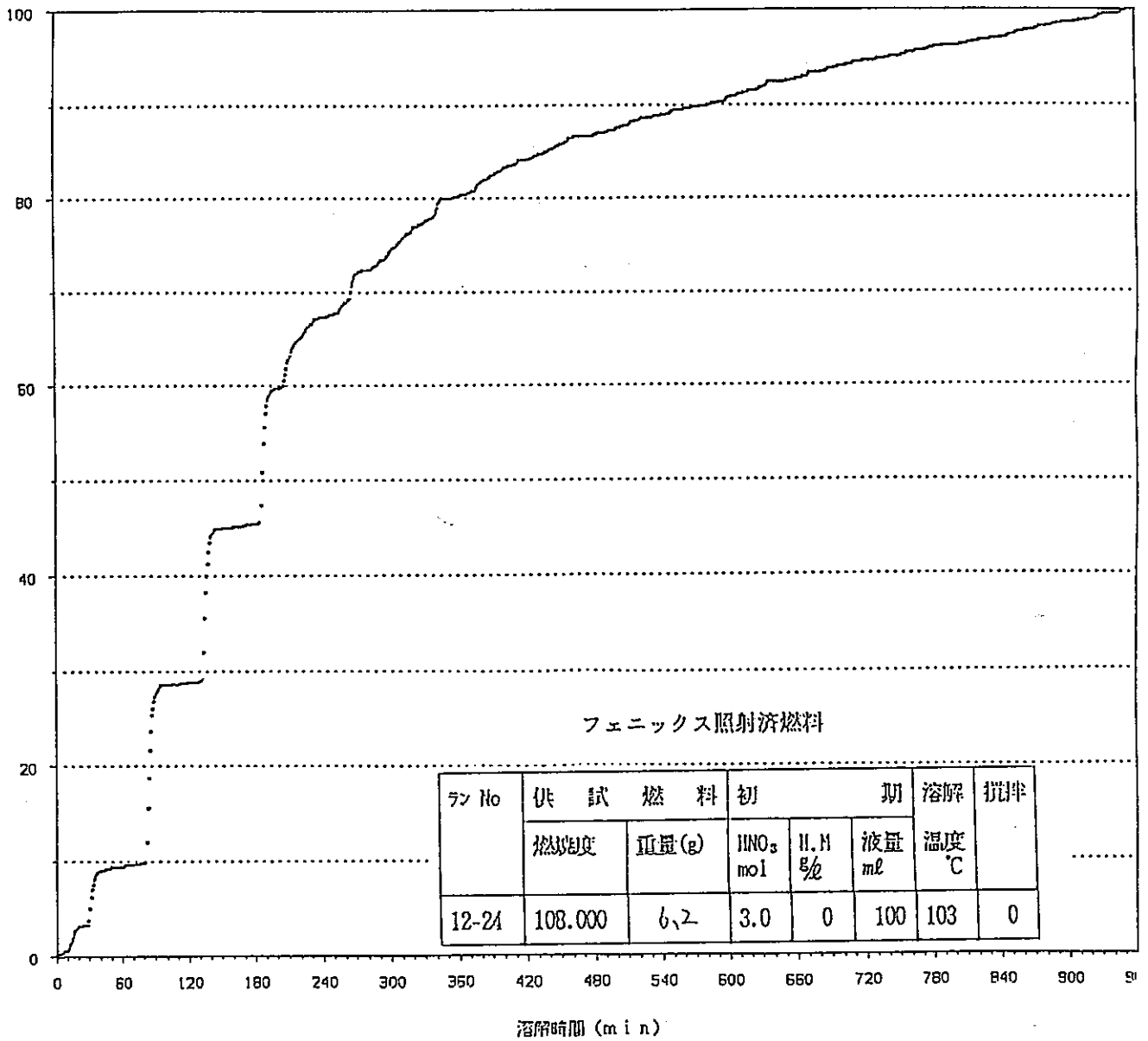


図 4 . 2 5 溶解特性曲線

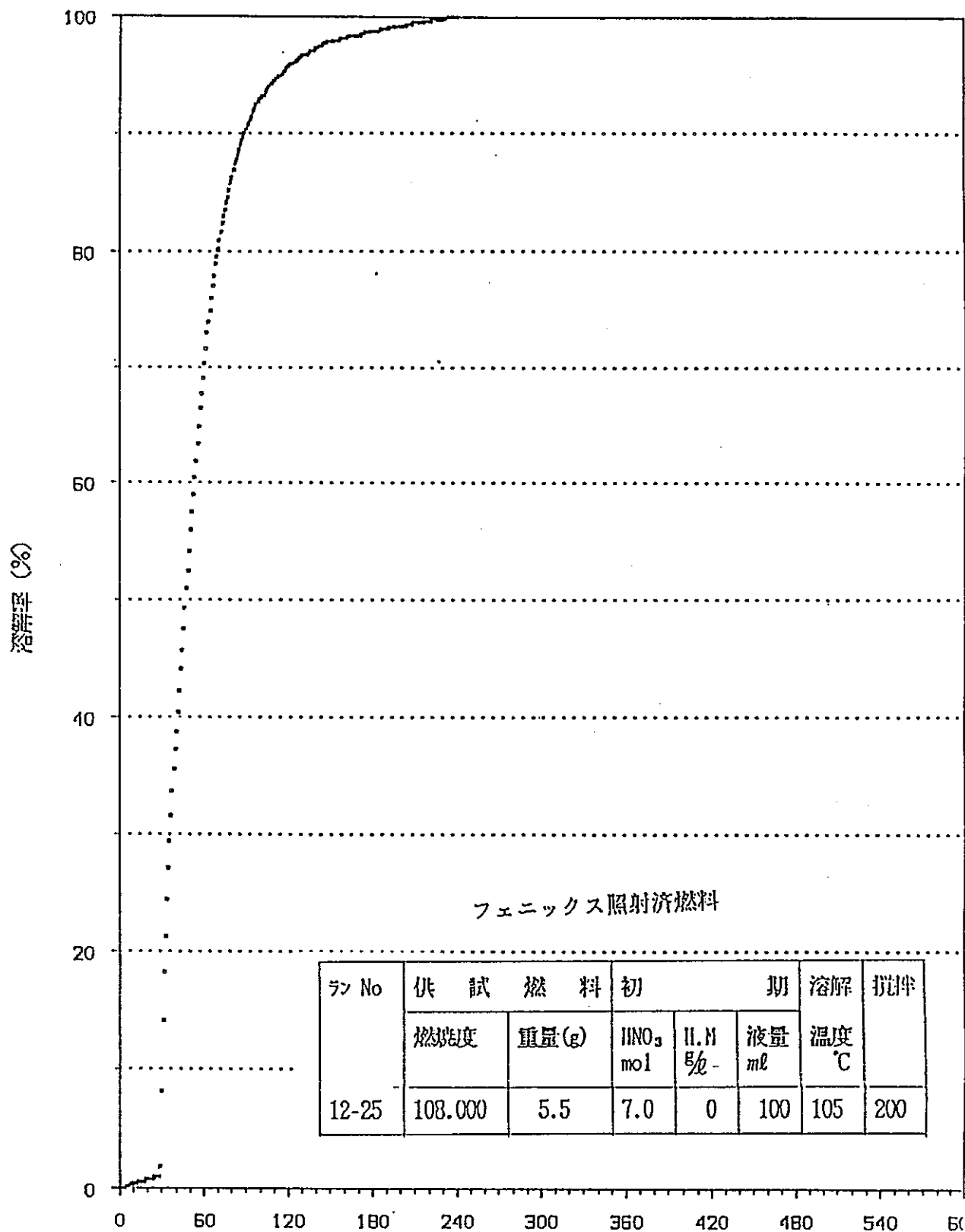


図 4 . 2 6 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

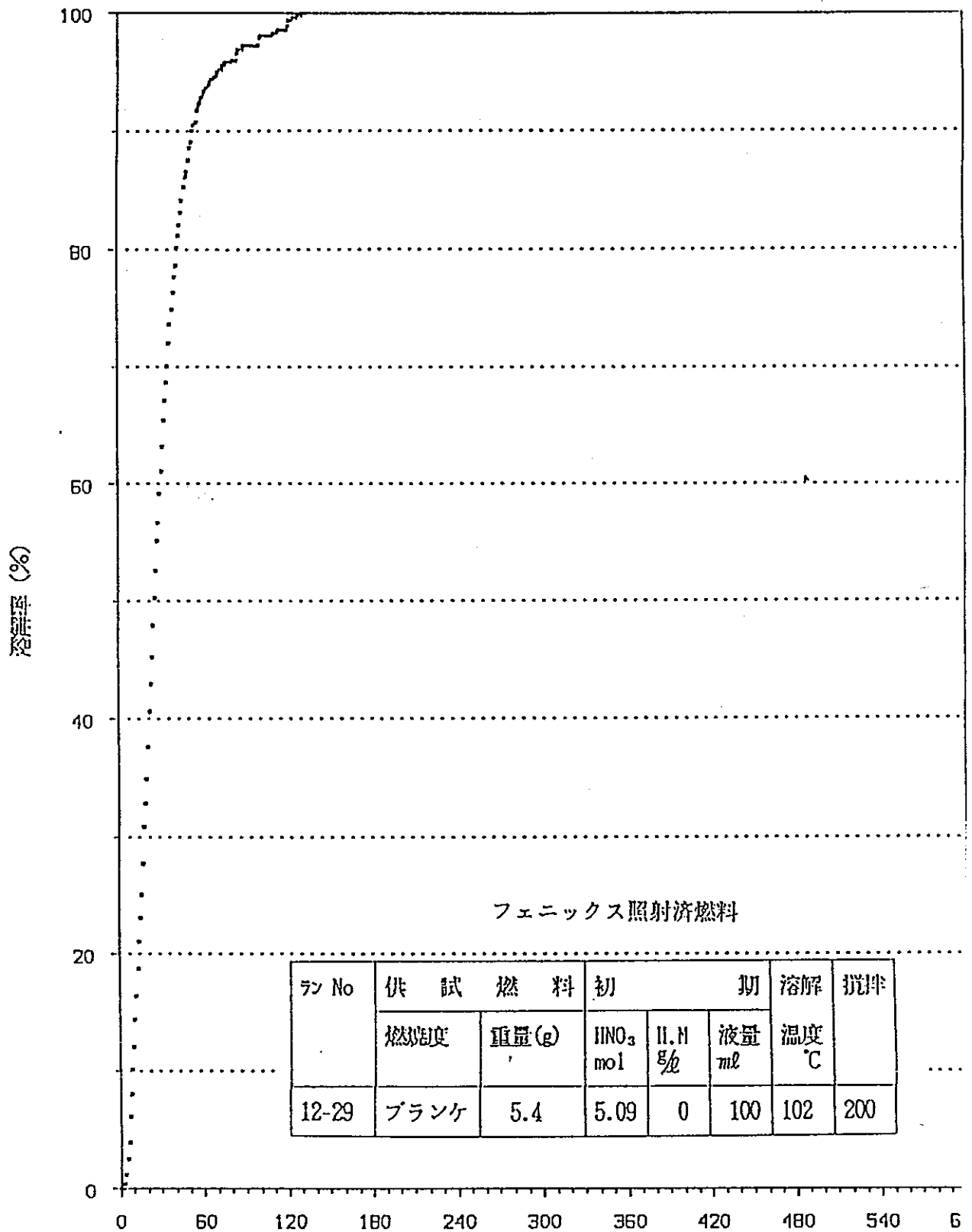


図 4 . 2 7 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

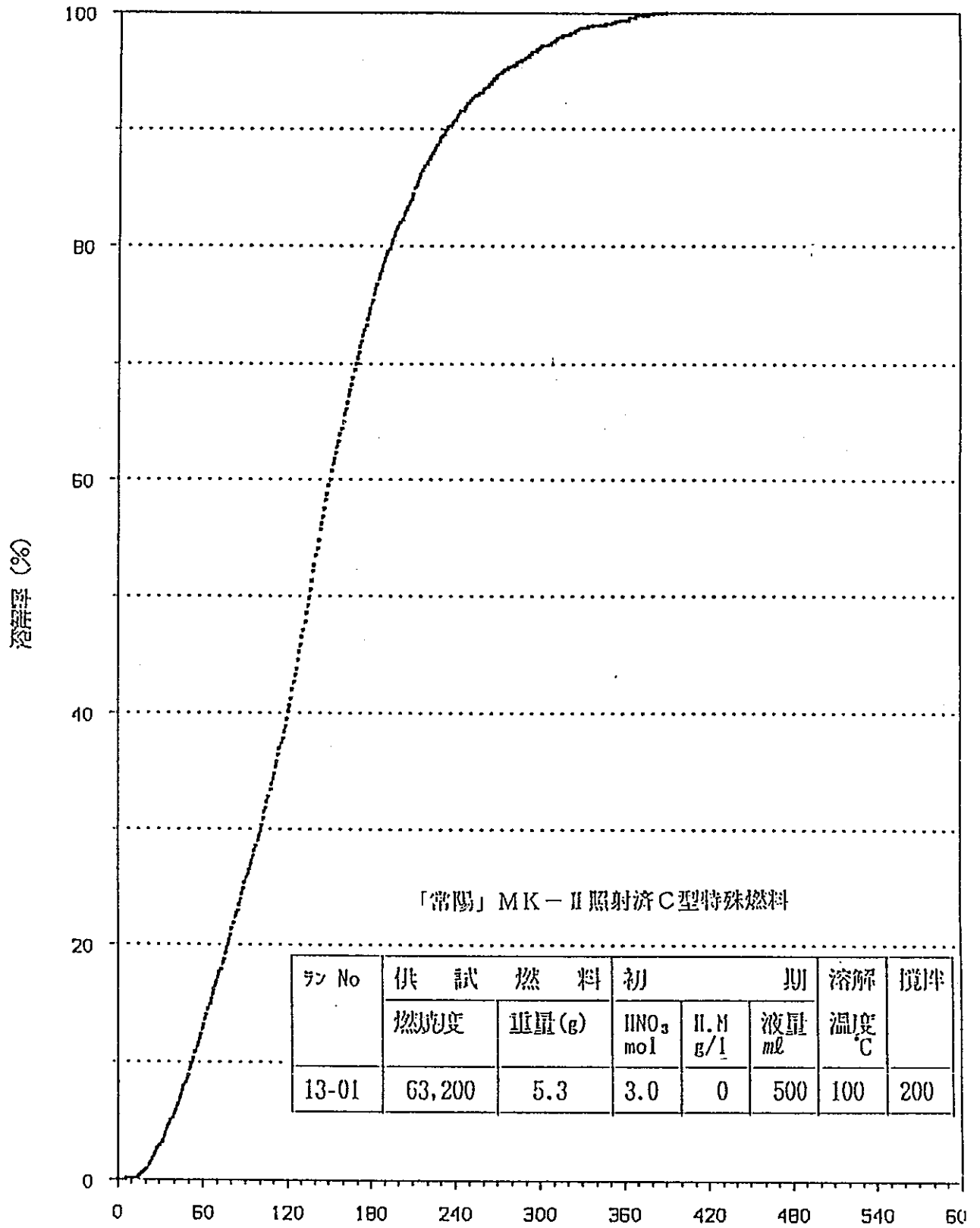


図 4. 2 8 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

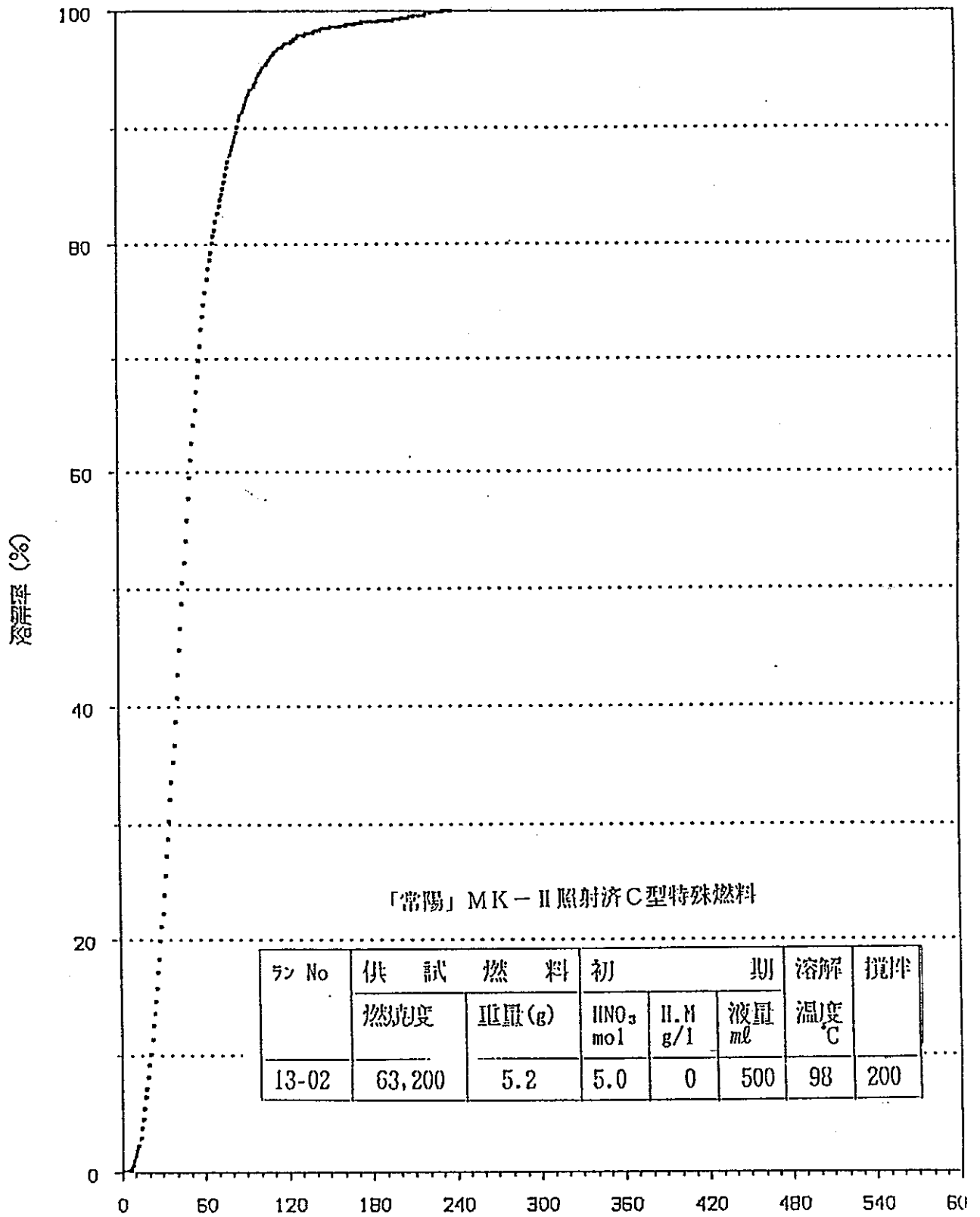


図 4 . 2 9 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

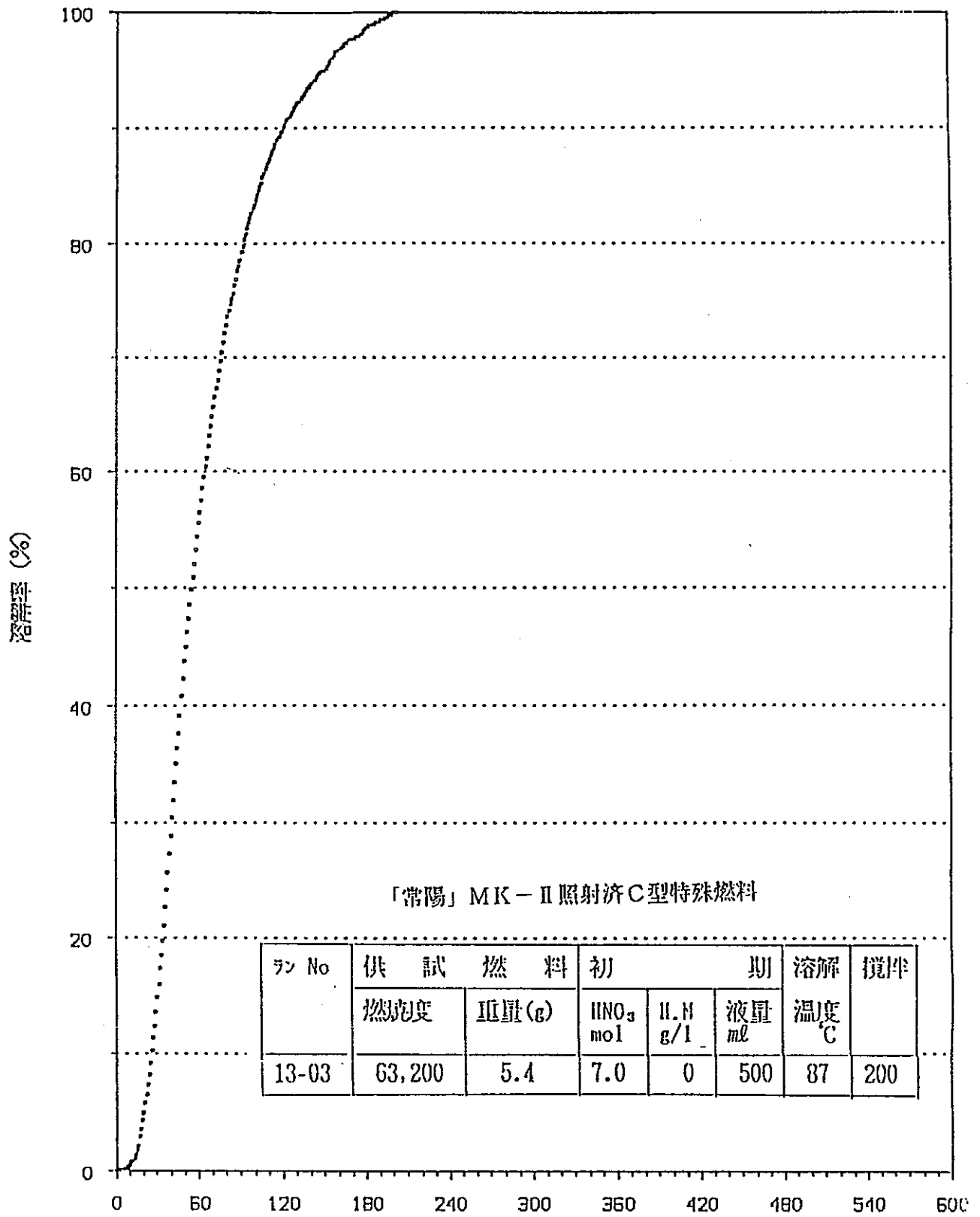


図 4 . 3 0 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

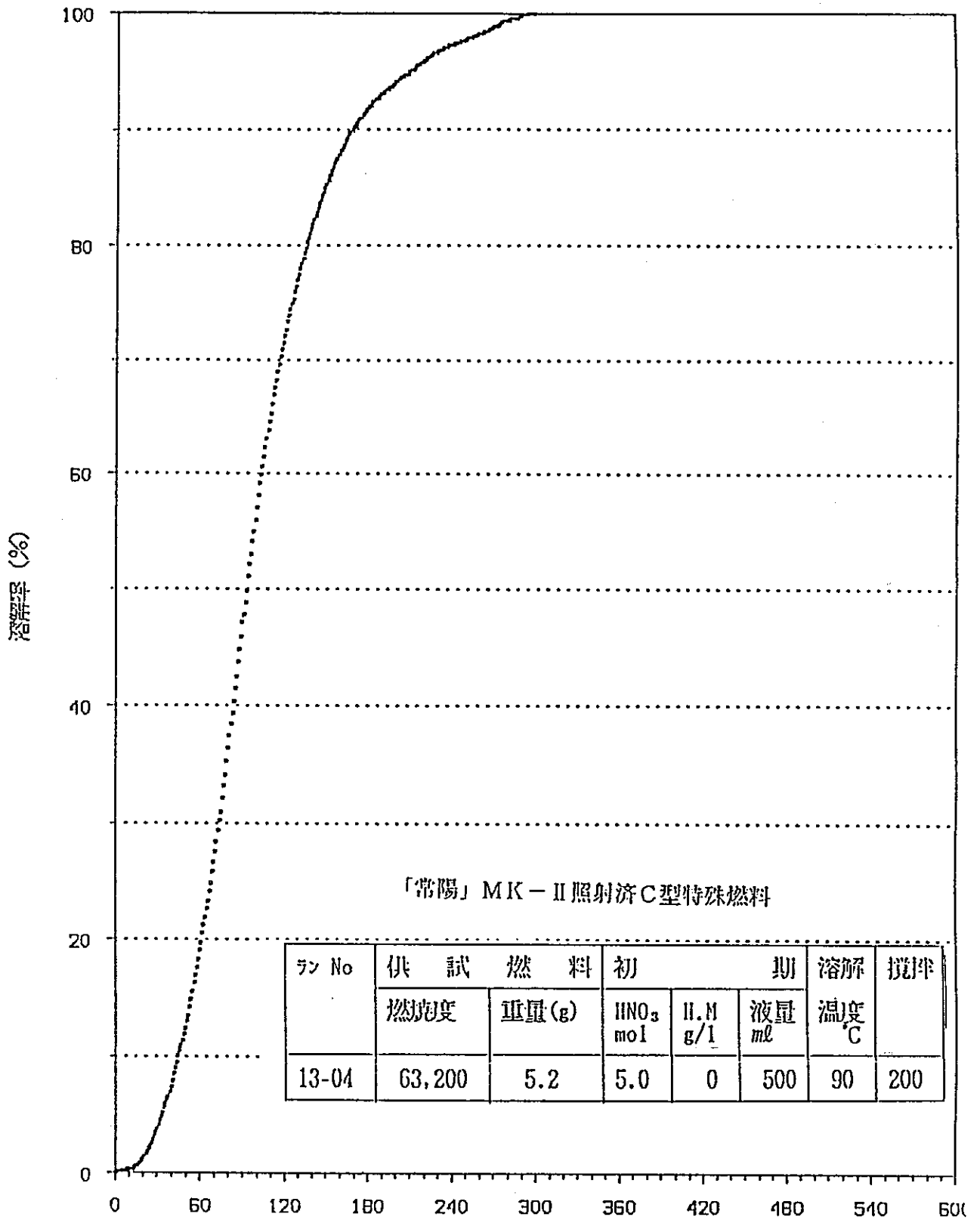


图 4 . 3 1 溶解率特性曲线 溶解時間 (min)

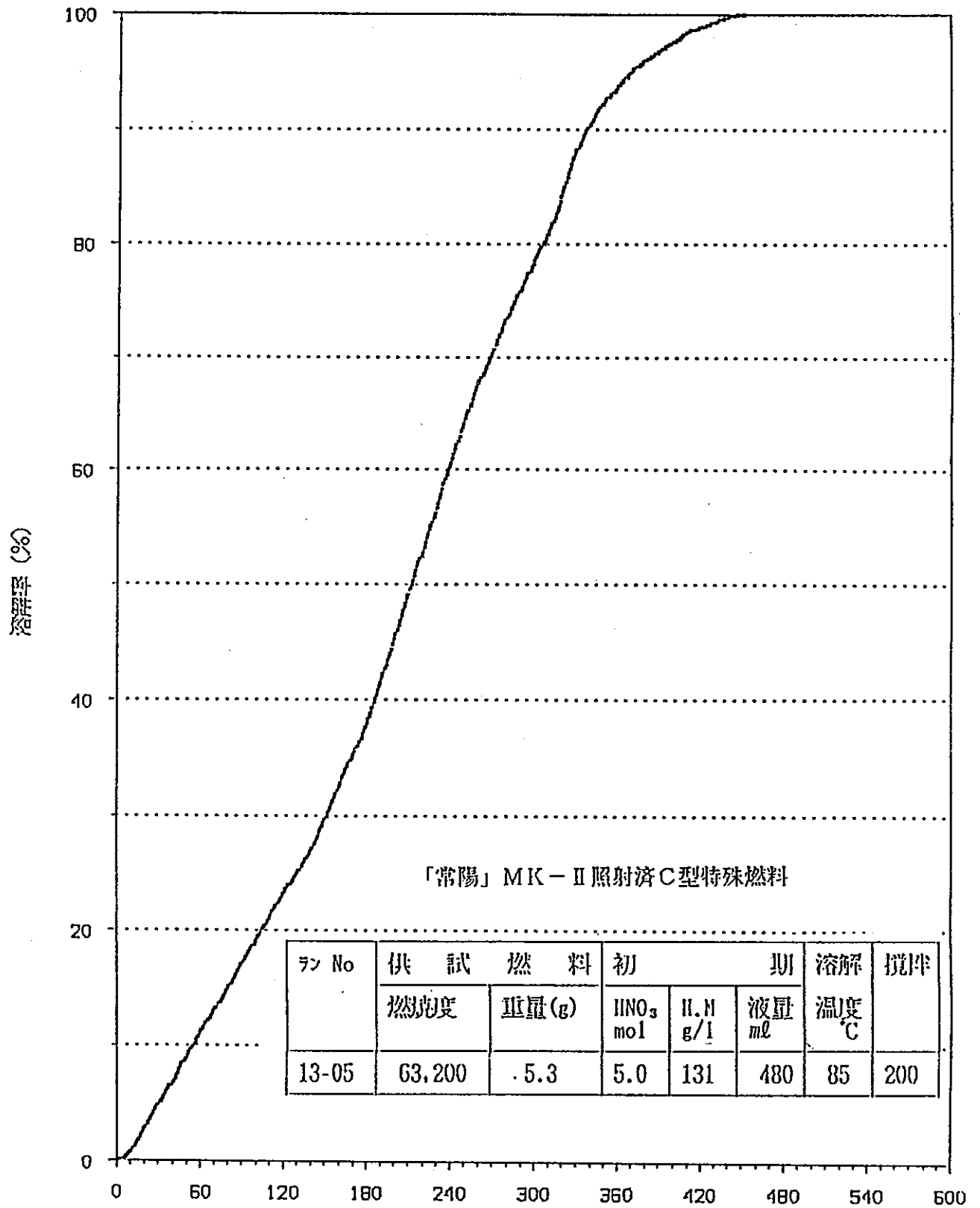


図 4 . 3 2 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

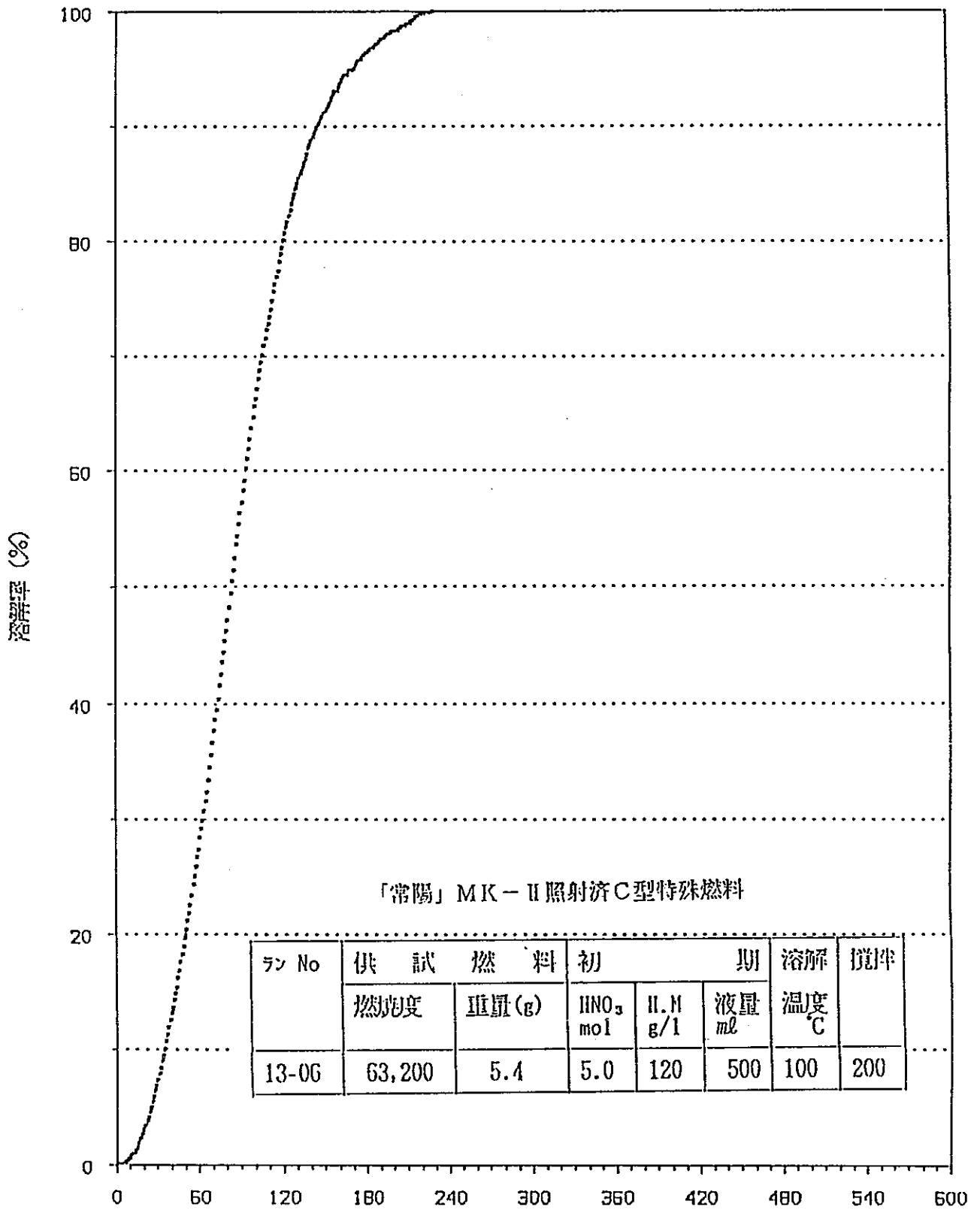


図 4. 3 3 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

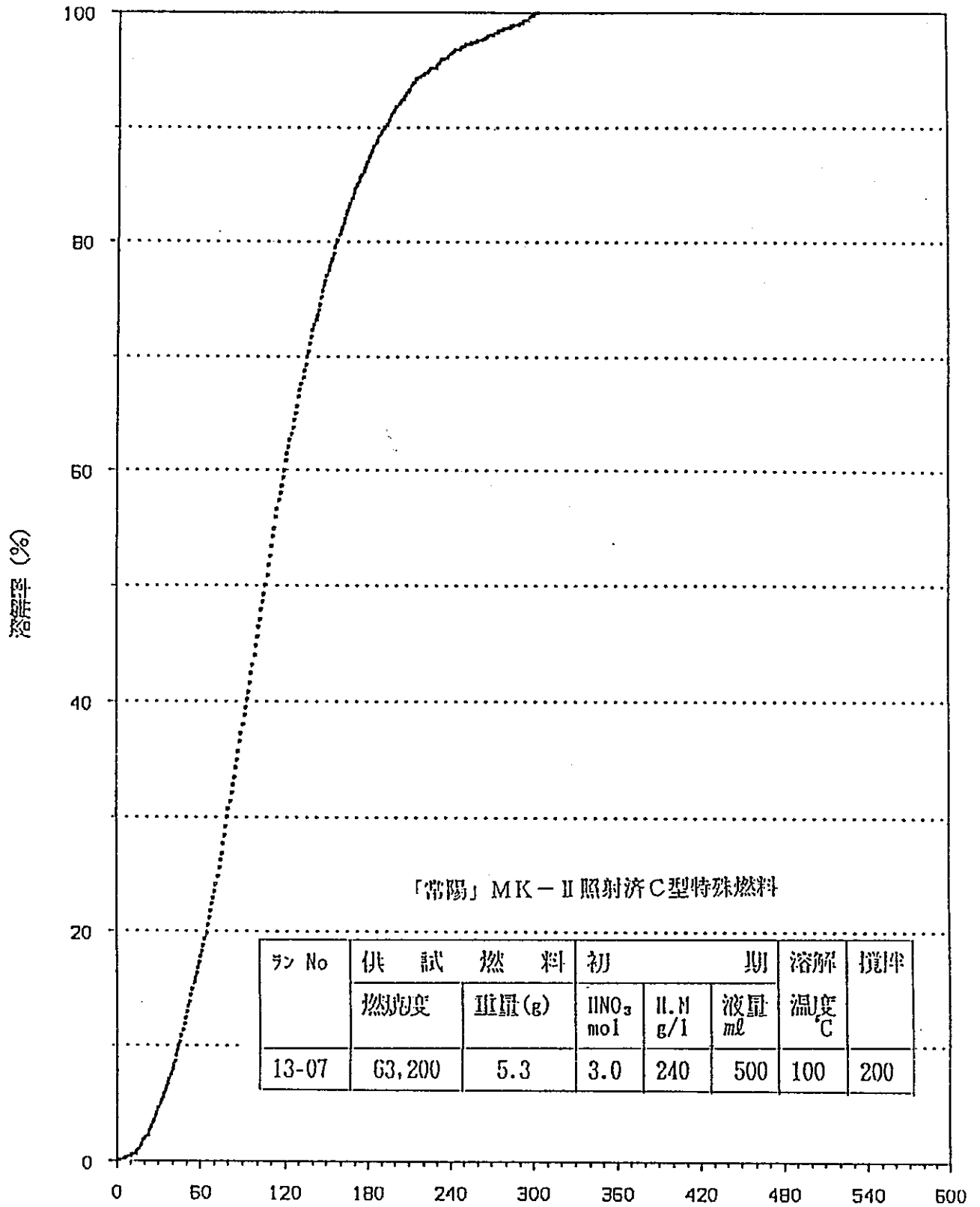


図 4 . 3 4 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

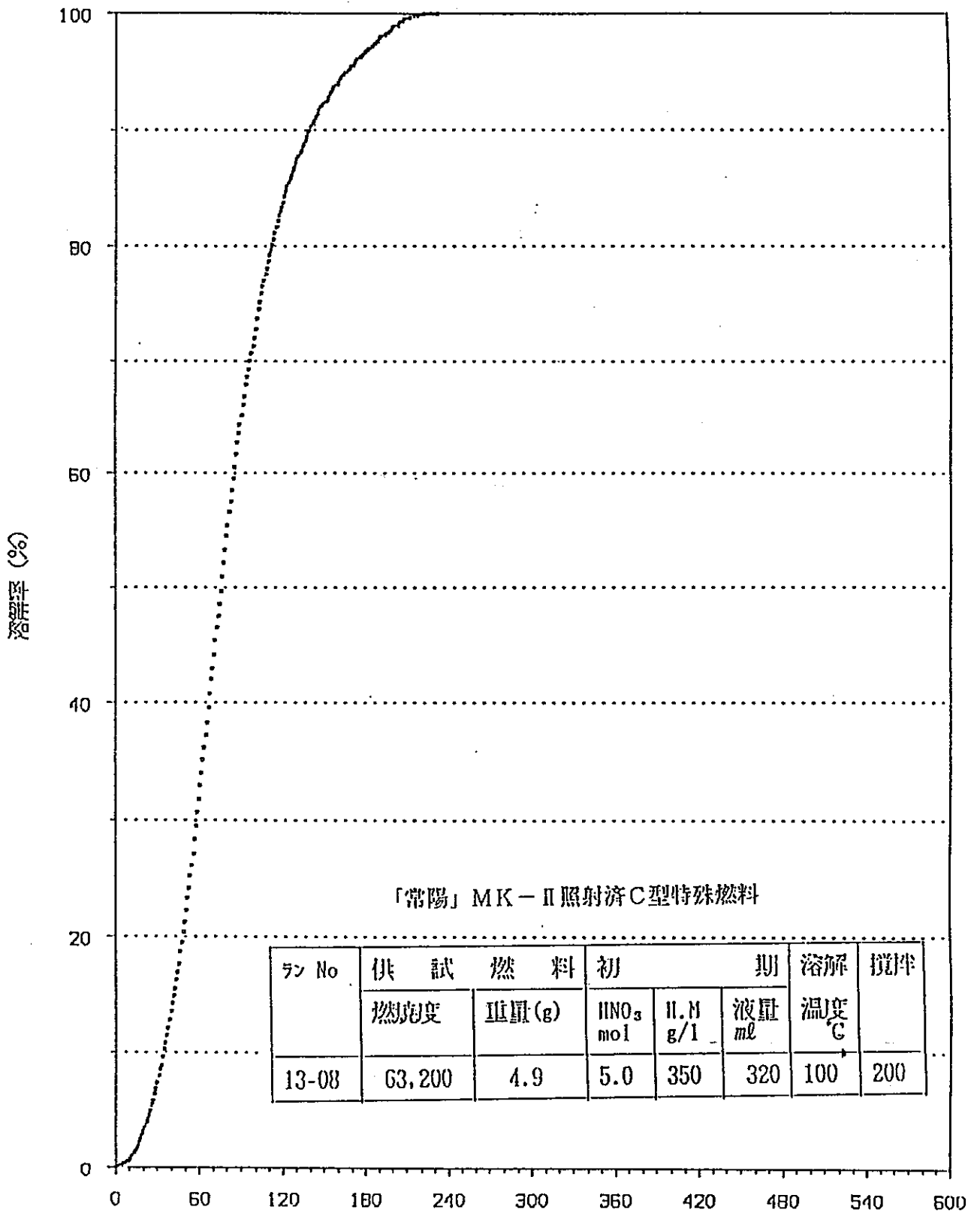


図 4 . 3 5 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

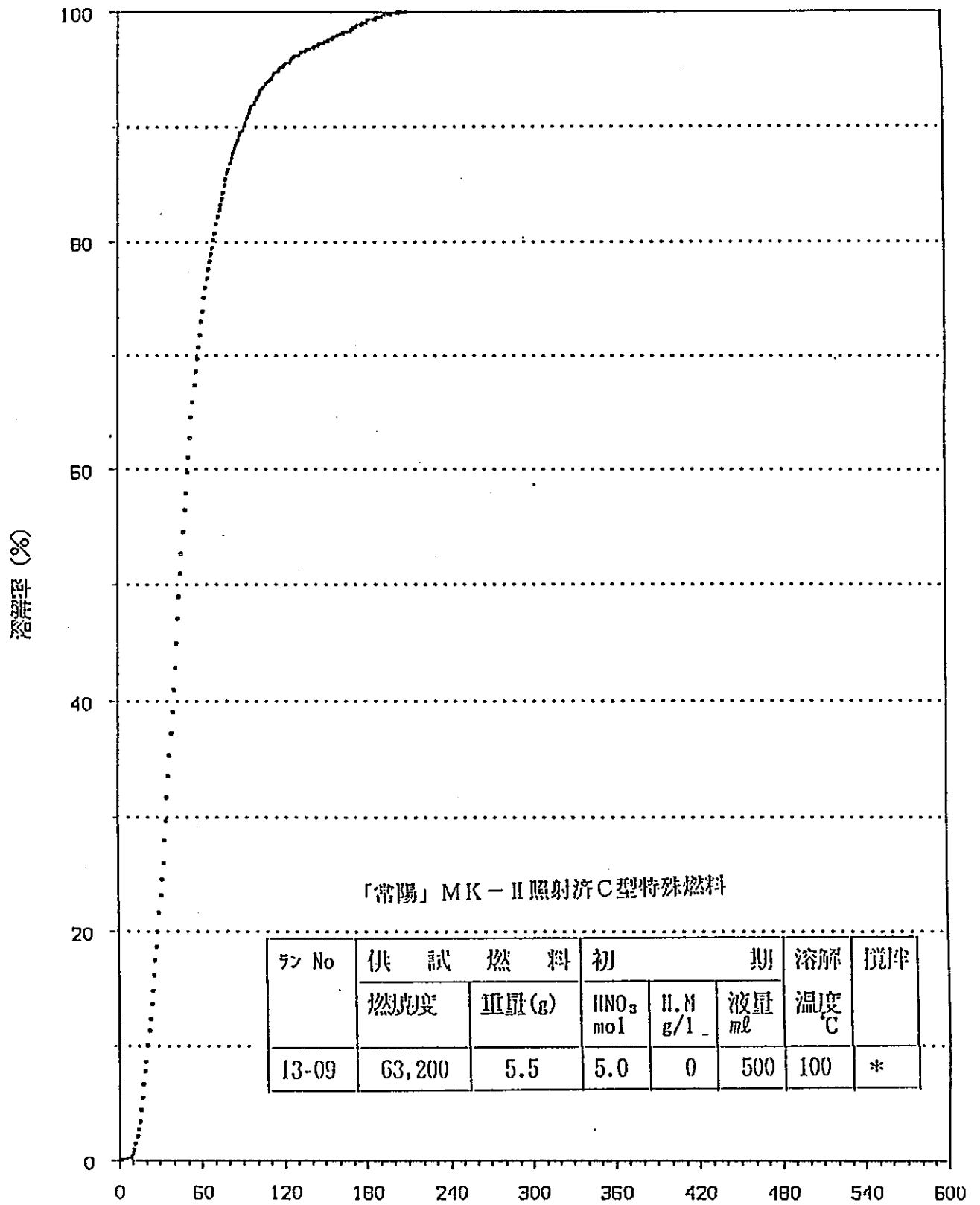


図 4 . 3 6 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

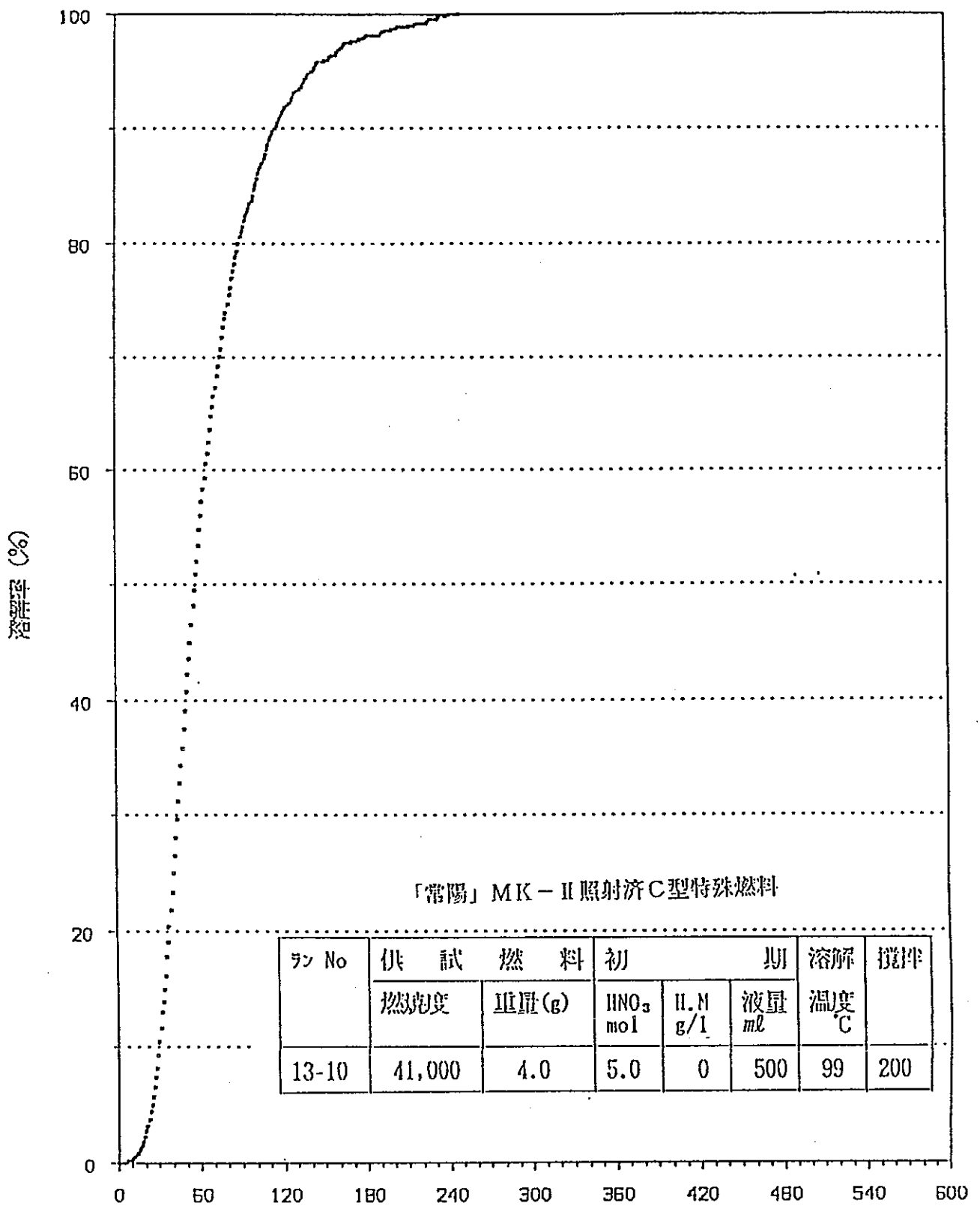


図 4. 3 7 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

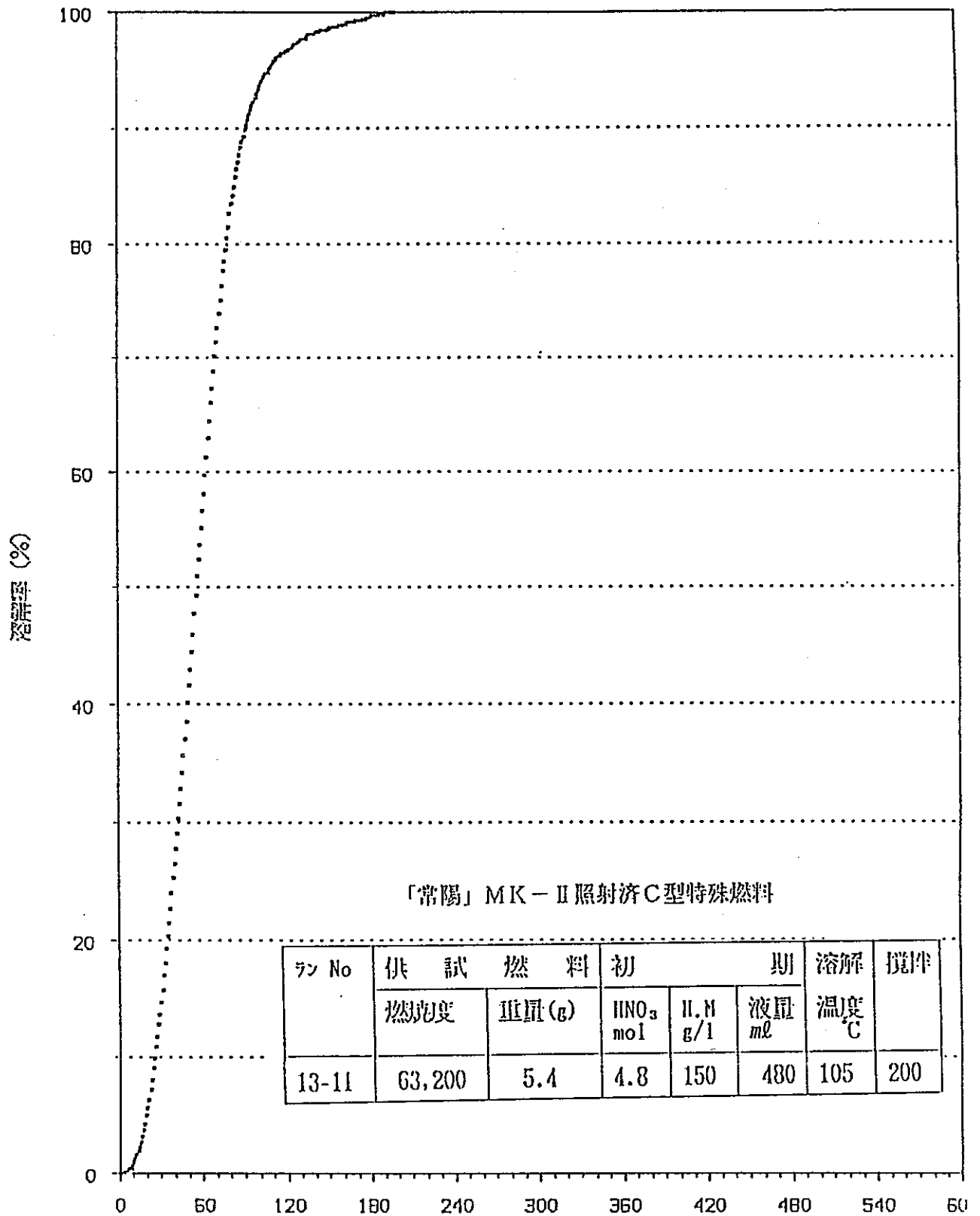


図 4 . 3 8 溶解率と時間との関係 溶解時間 (min)

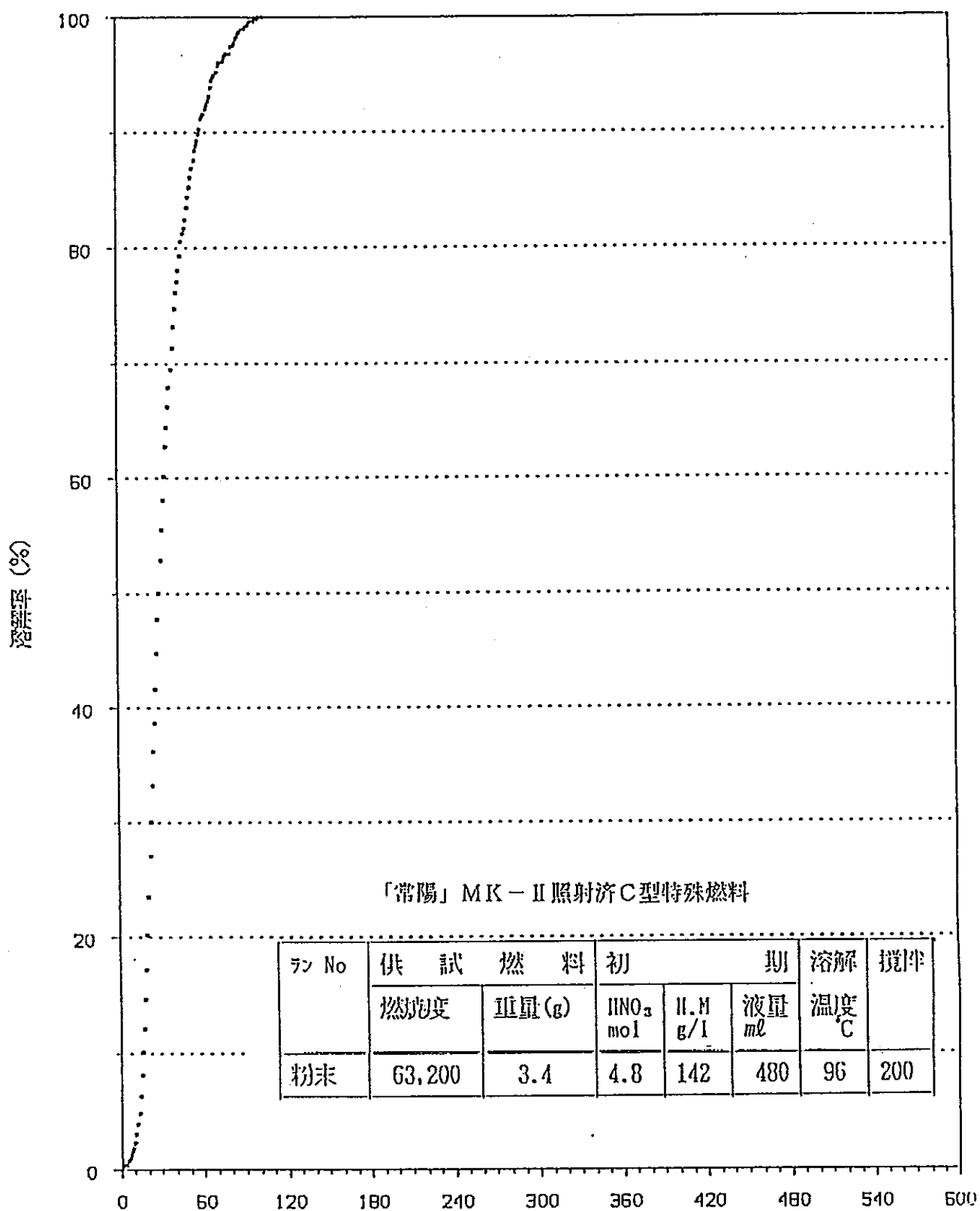


図 4. 3 9 溶解特性曲線

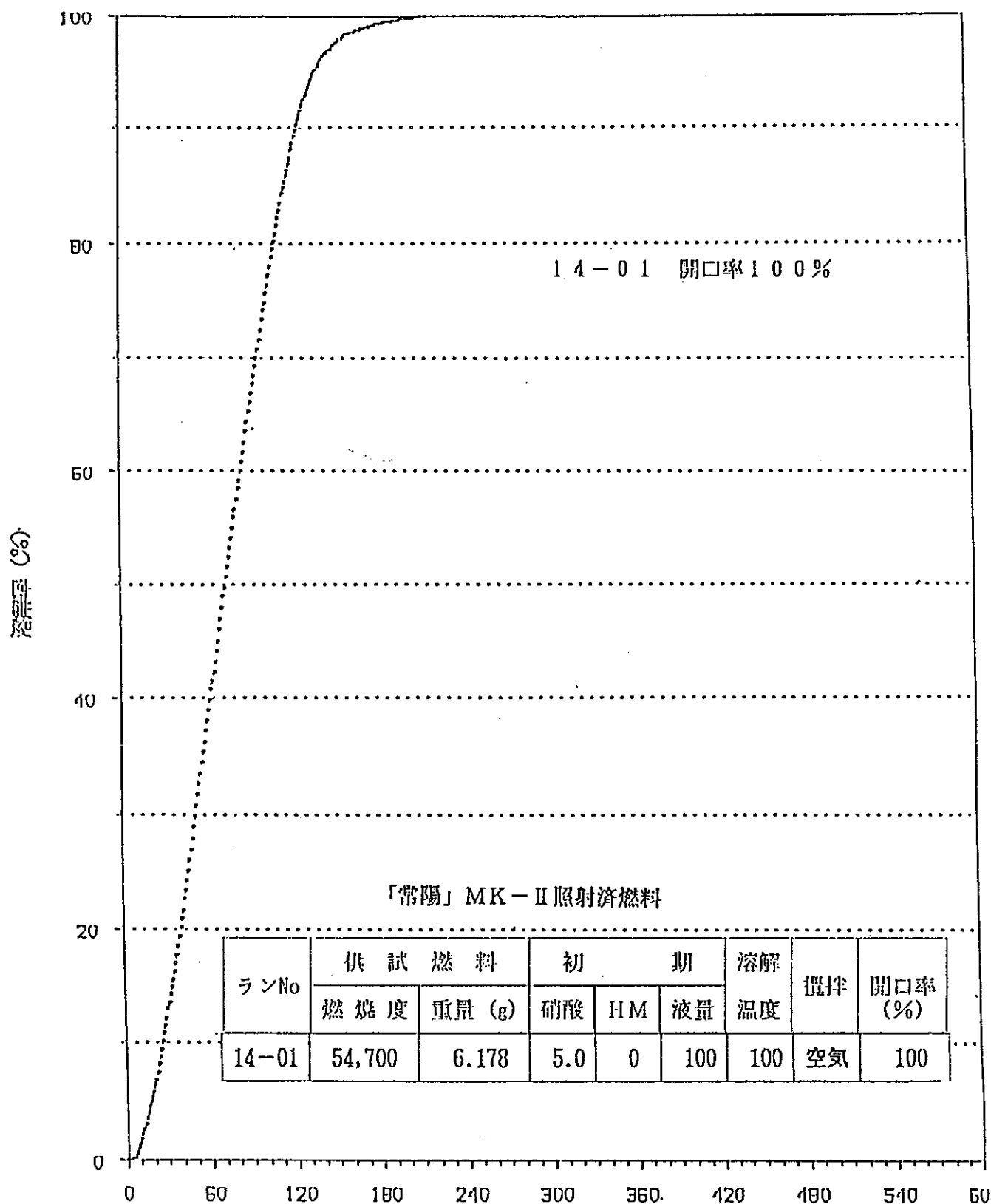


図4. 40 溶解率特性による溶解時間 (min)

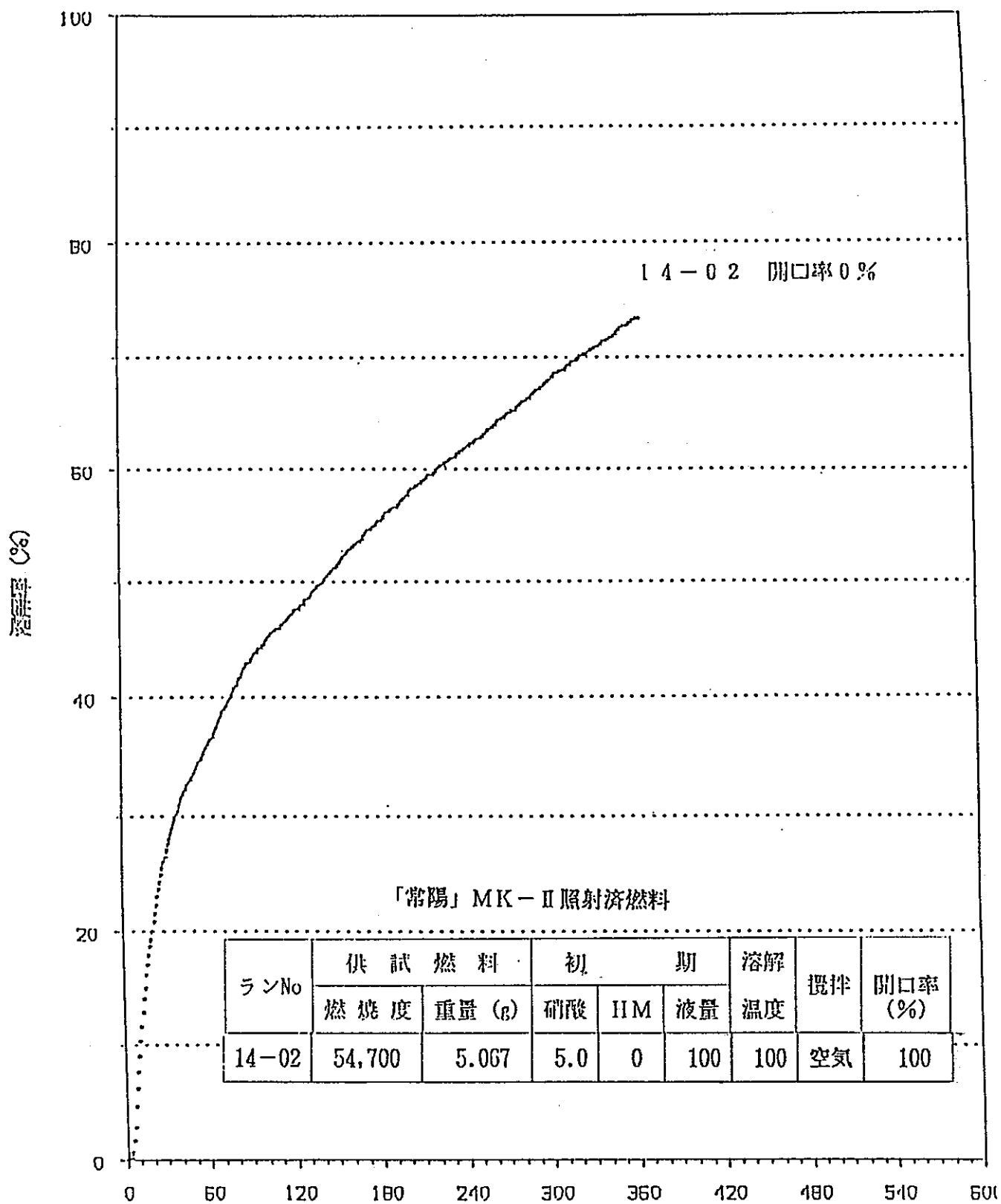


図 4 . 4 1 溶解率特性の測定結果 溶解時間 (min)

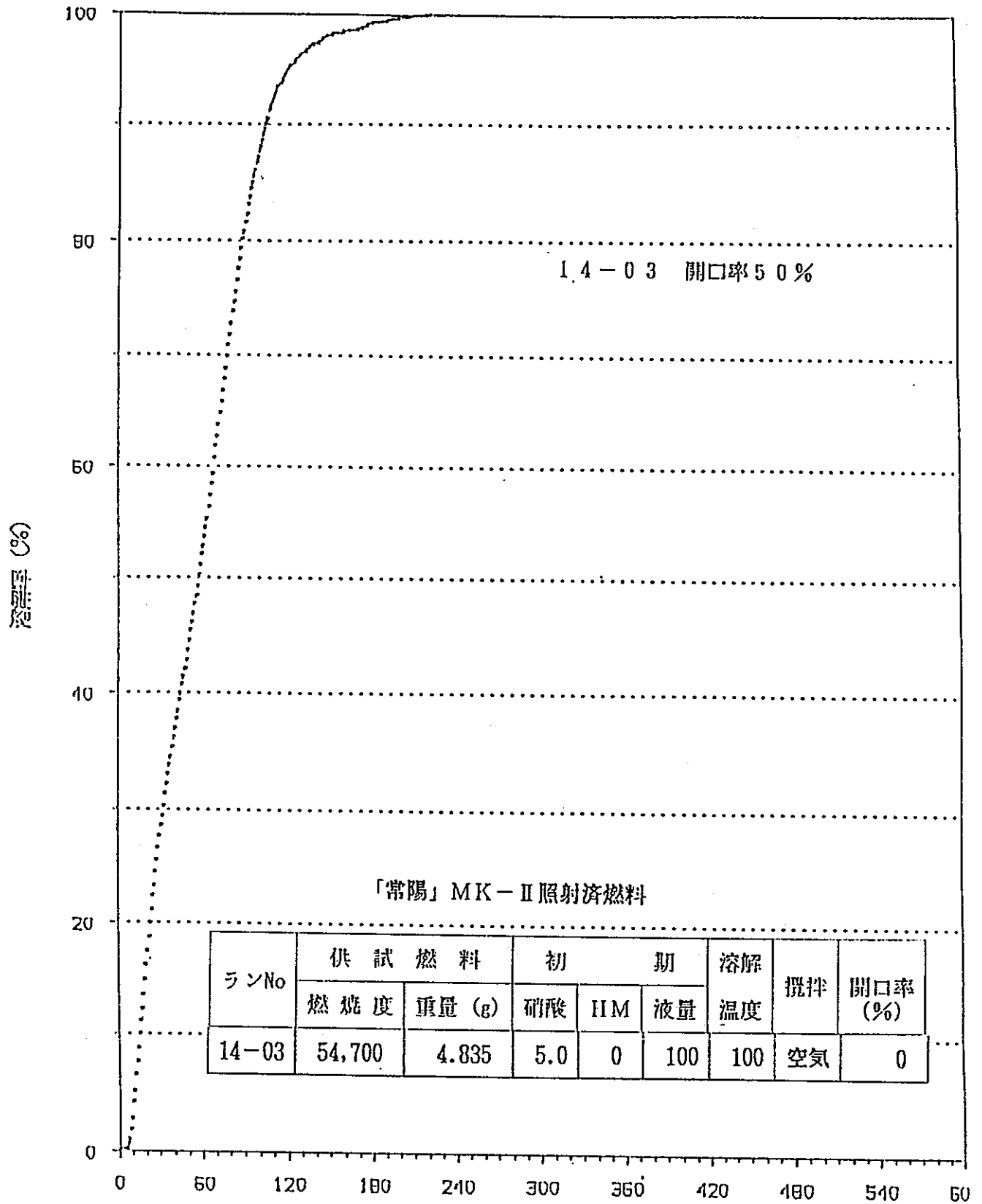


図 4. 4 2 溶解特性曲線 溶解時間 (min)

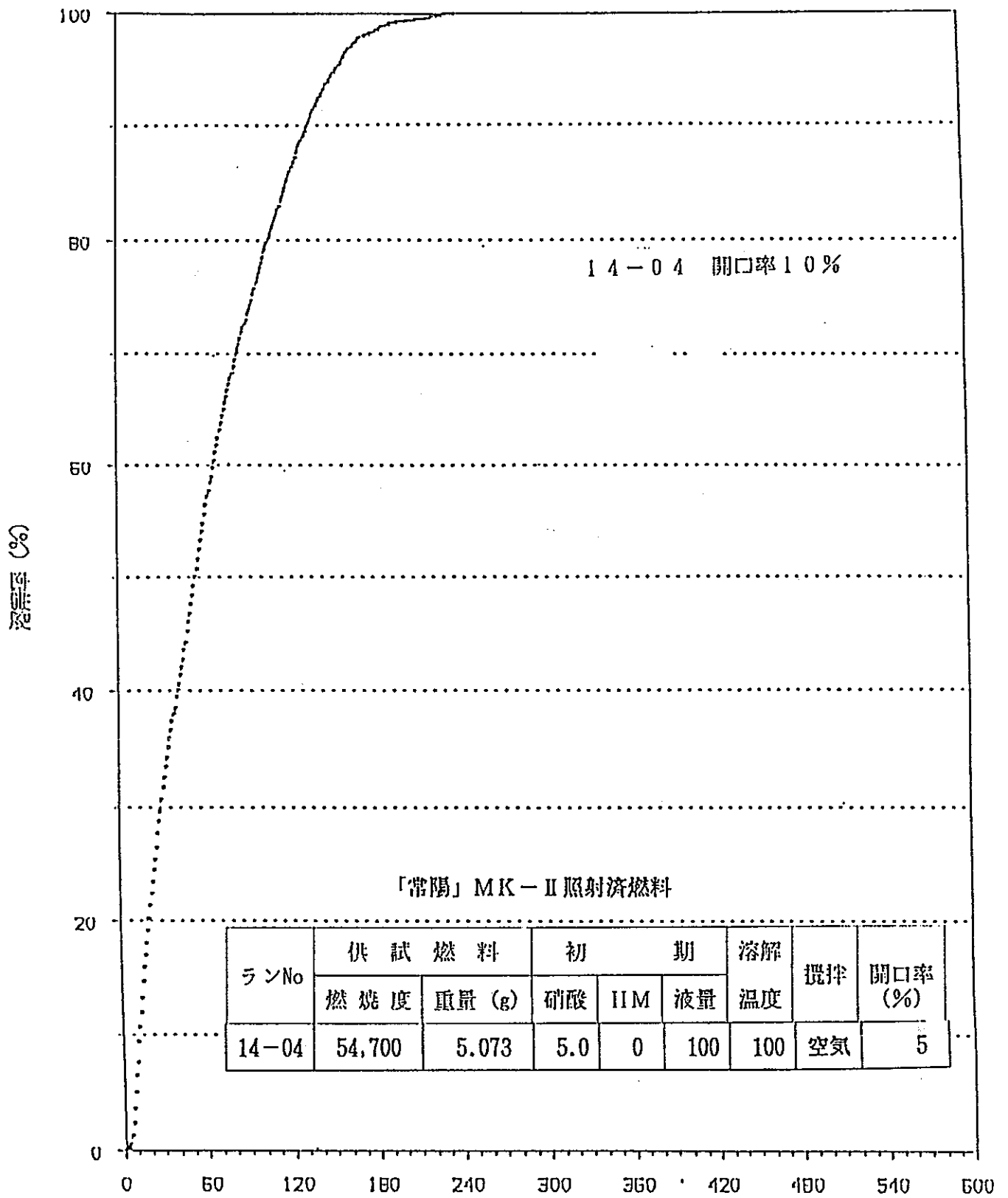


図 4. 4 3 溶解率と時間との関係 溶解時間 (min)

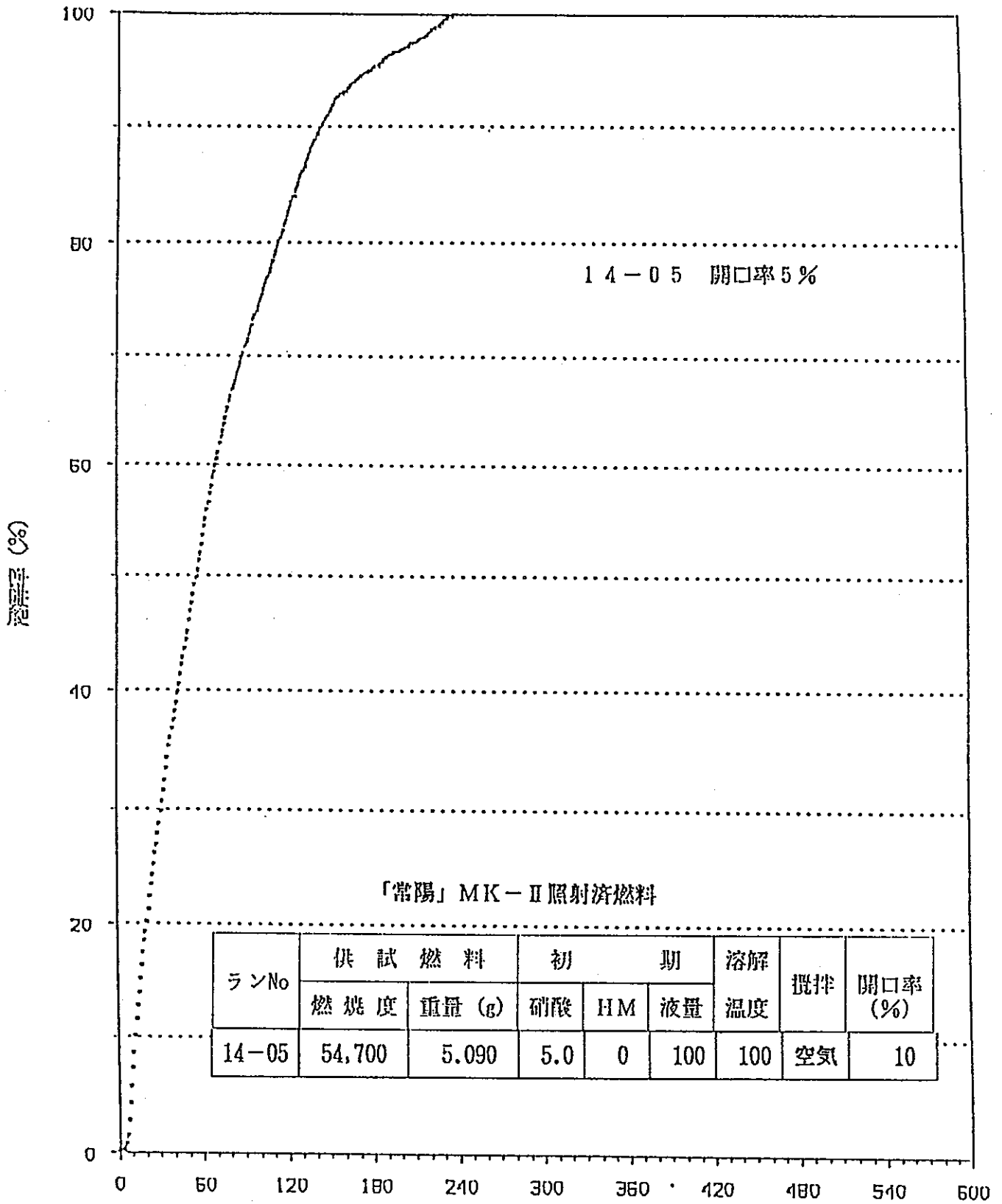


図4. 4. 4 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

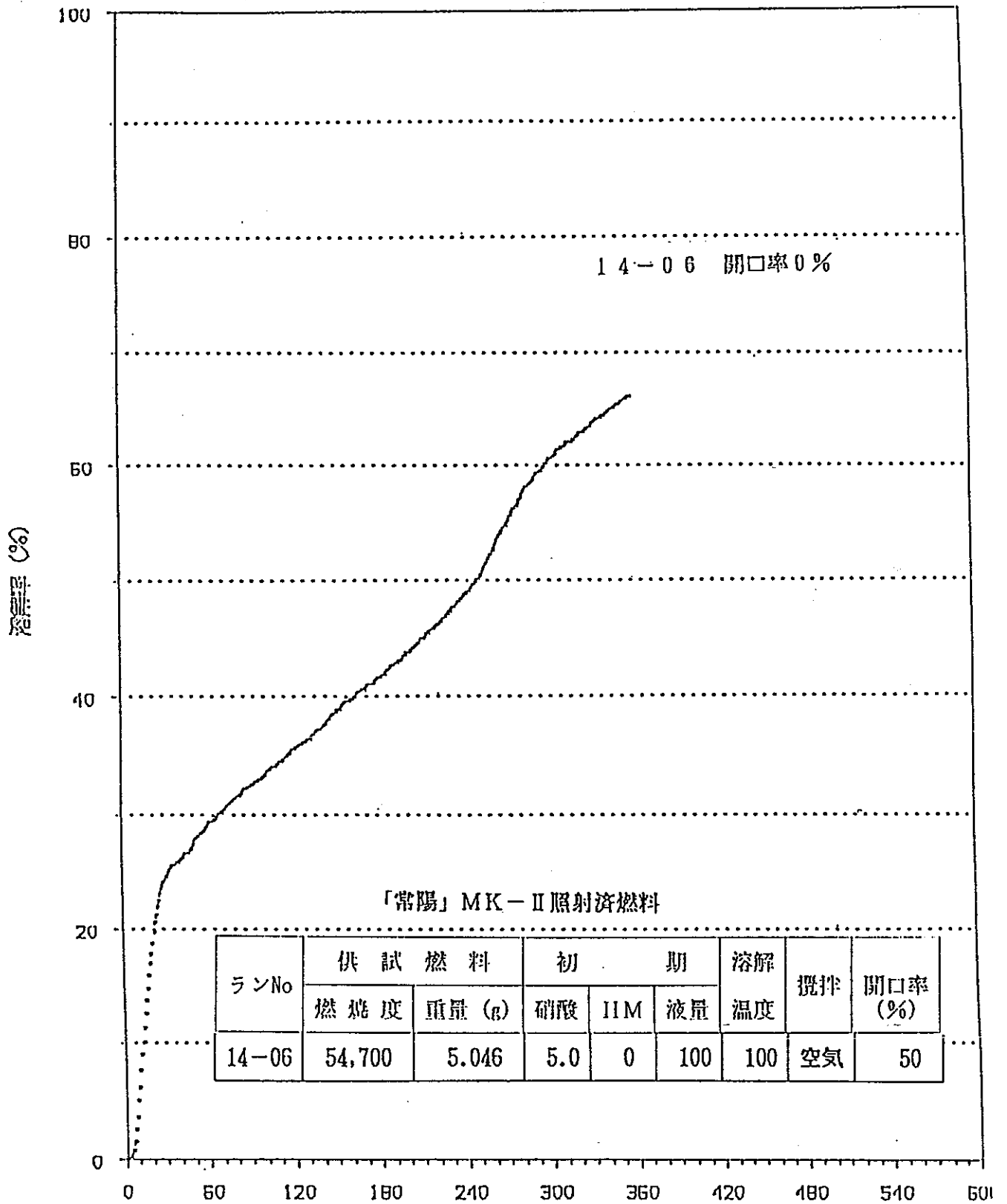


図 4. 4 5 溶解率特性曲線 溶解時間 (min)

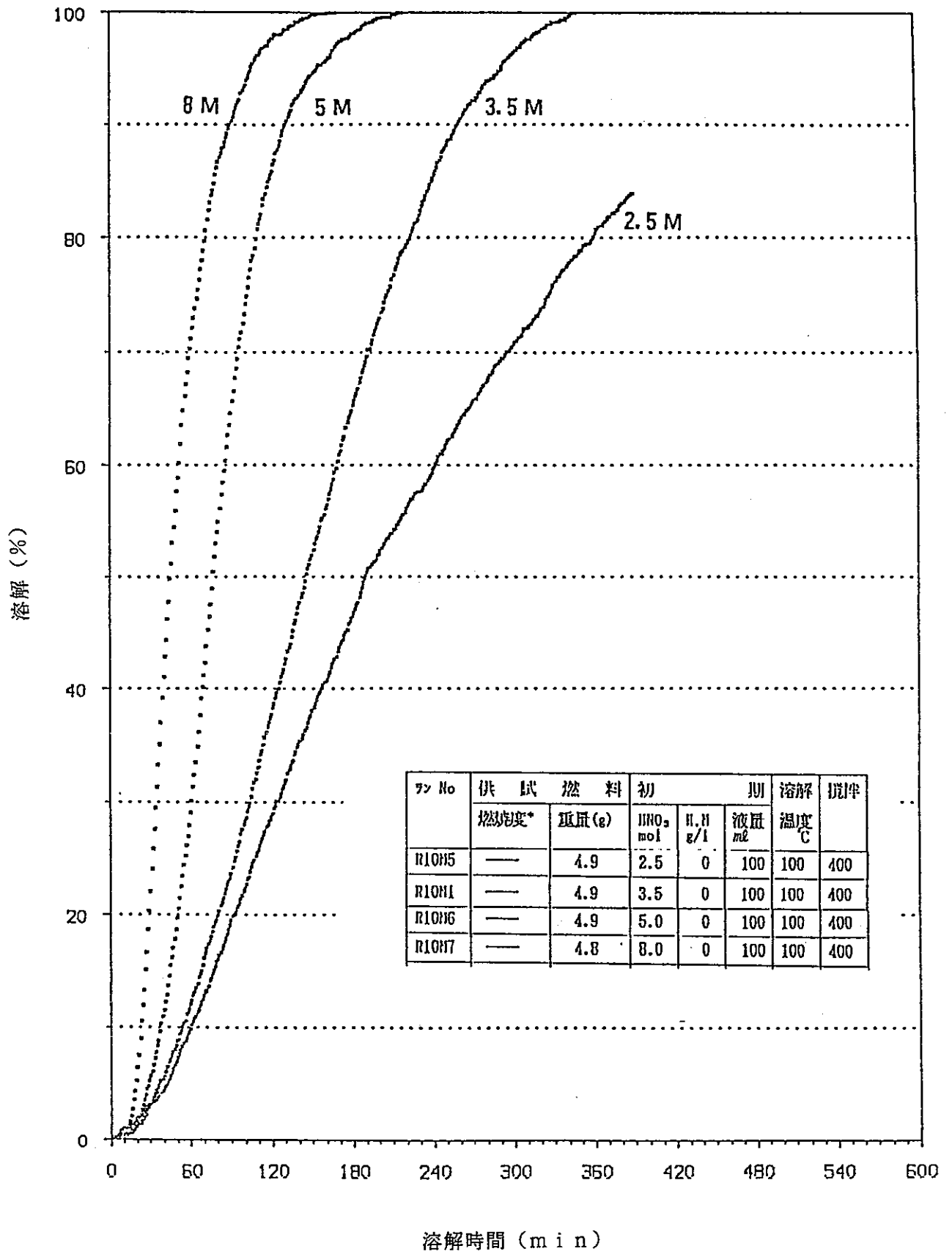


図 4. 46 初期硝酸濃度による影響

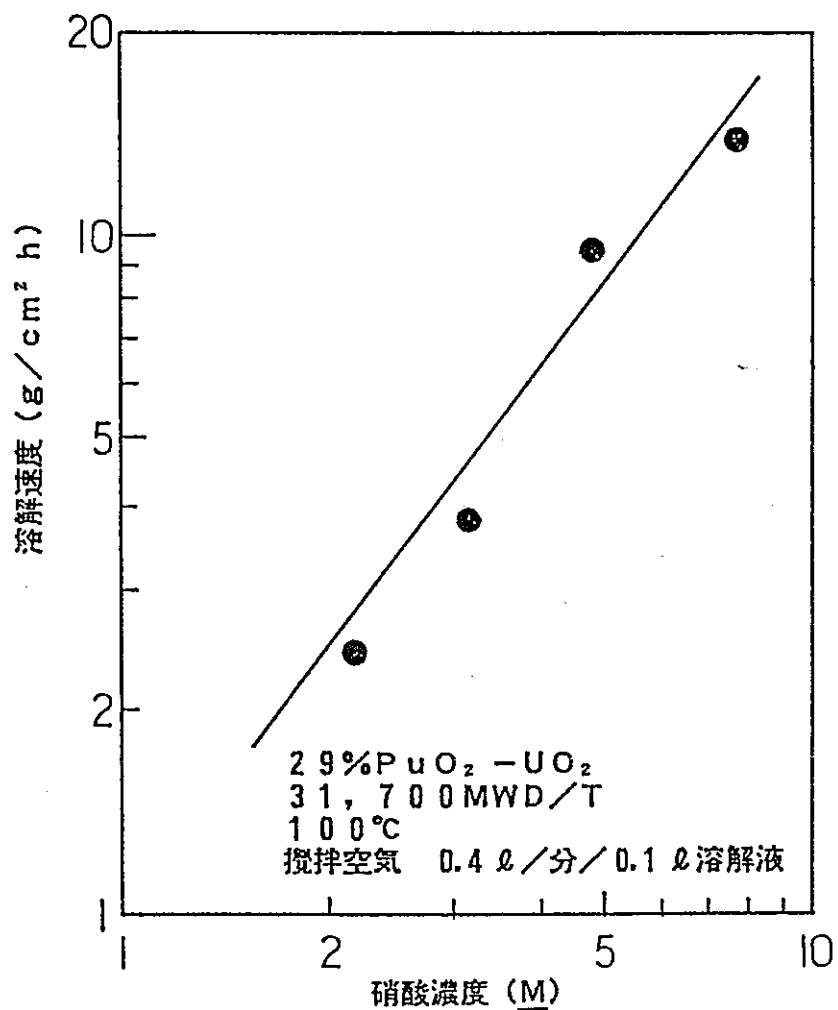


图 4. 47 溶解速度と初期硝酸濃度

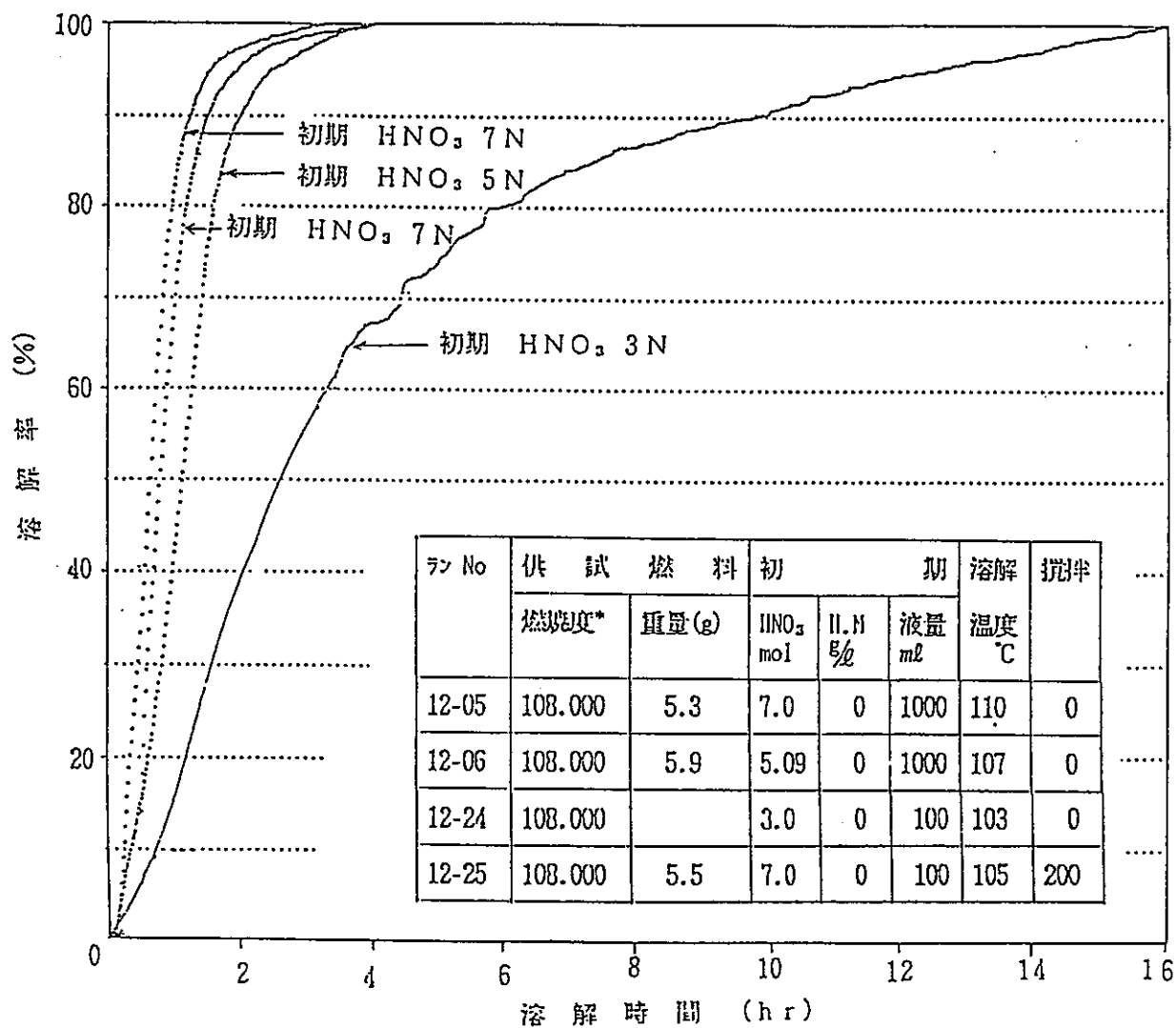


図 4. 4 8 初期硝酸濃度による影響

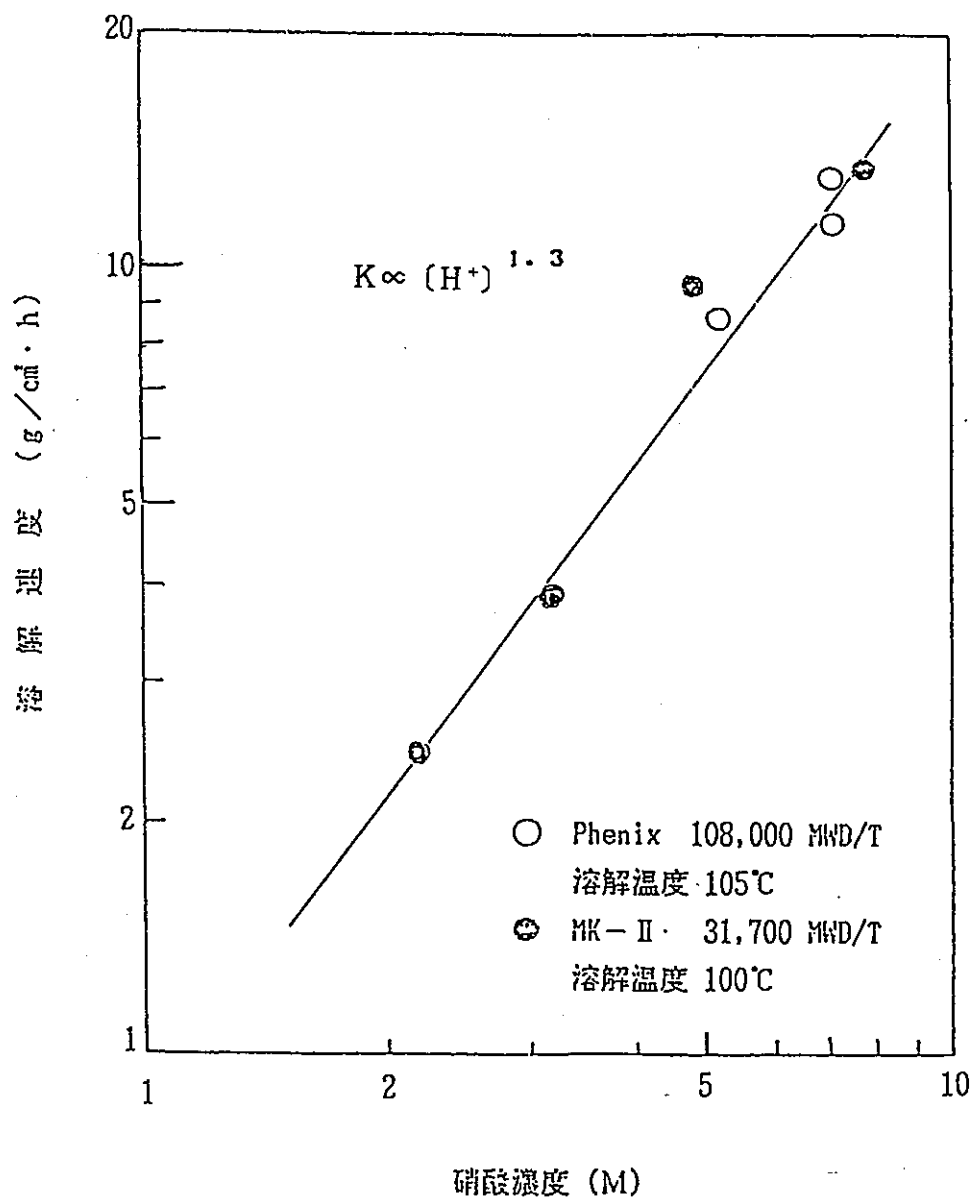


図 4. 4 9 溶解速度と初期硝酸濃度

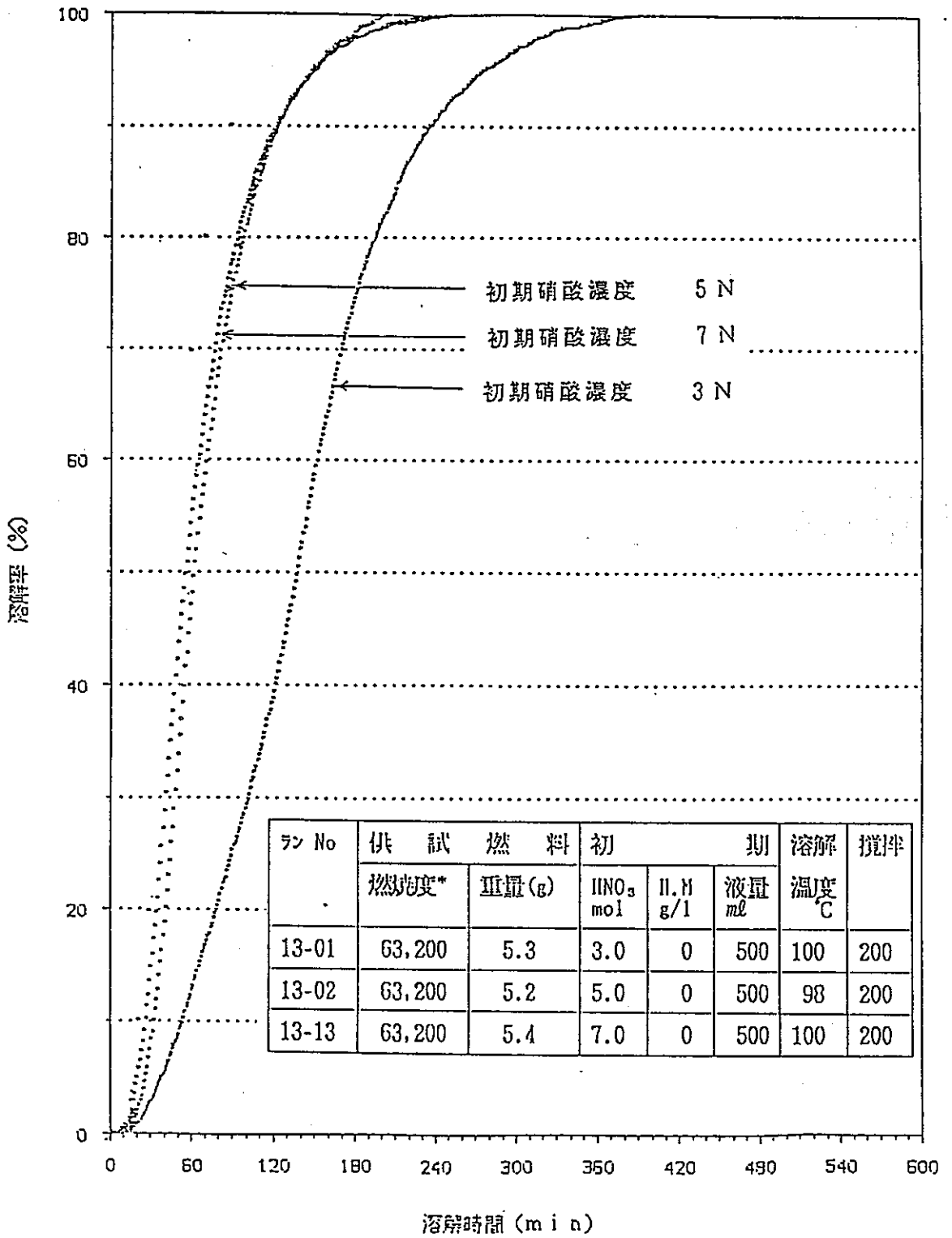


図 4. 5 0 初期硝酸濃度による影響

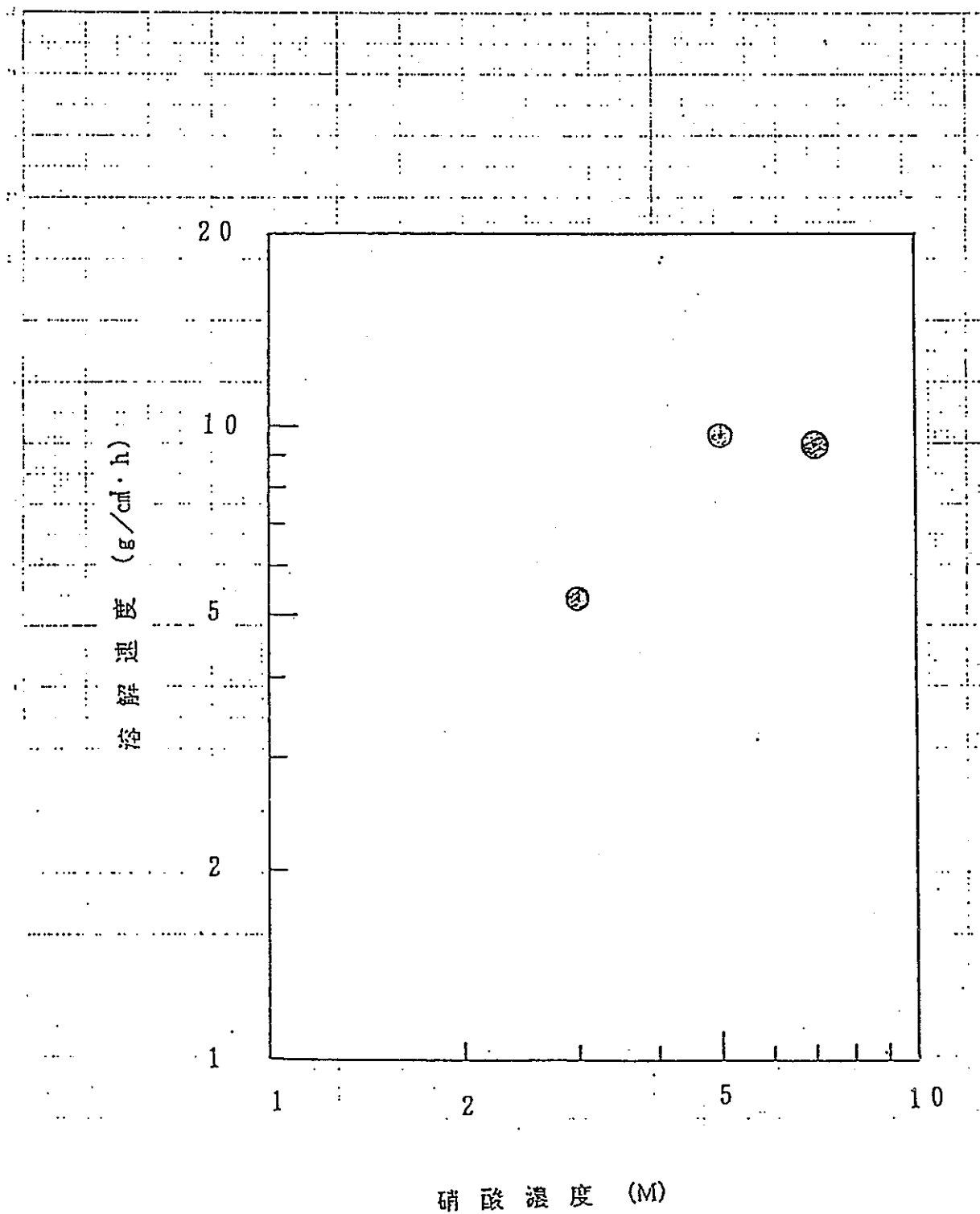


图 4. 5 1 溶解速度と初期硝酸濃度

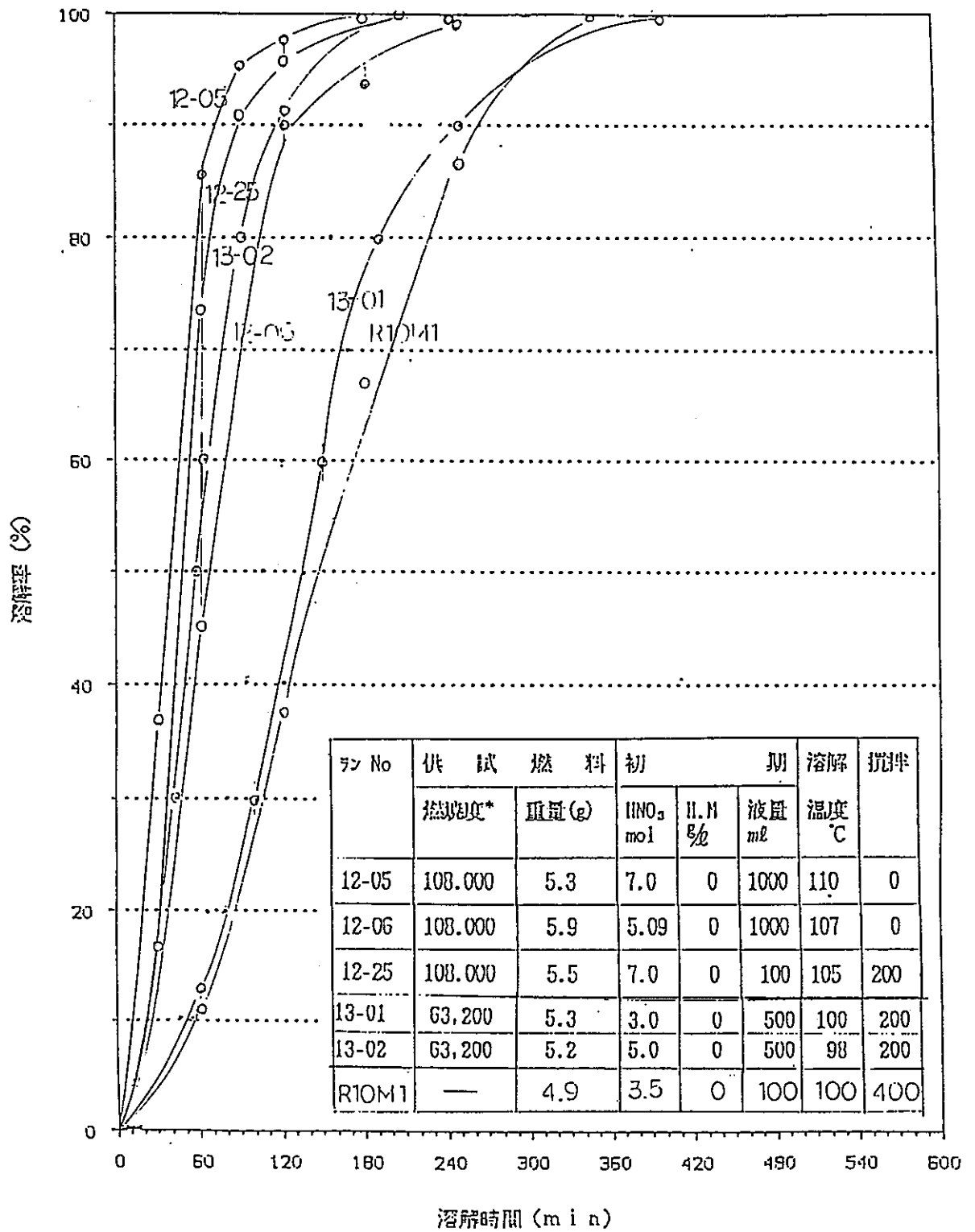


図4. 52 初期硝酸濃度による影響

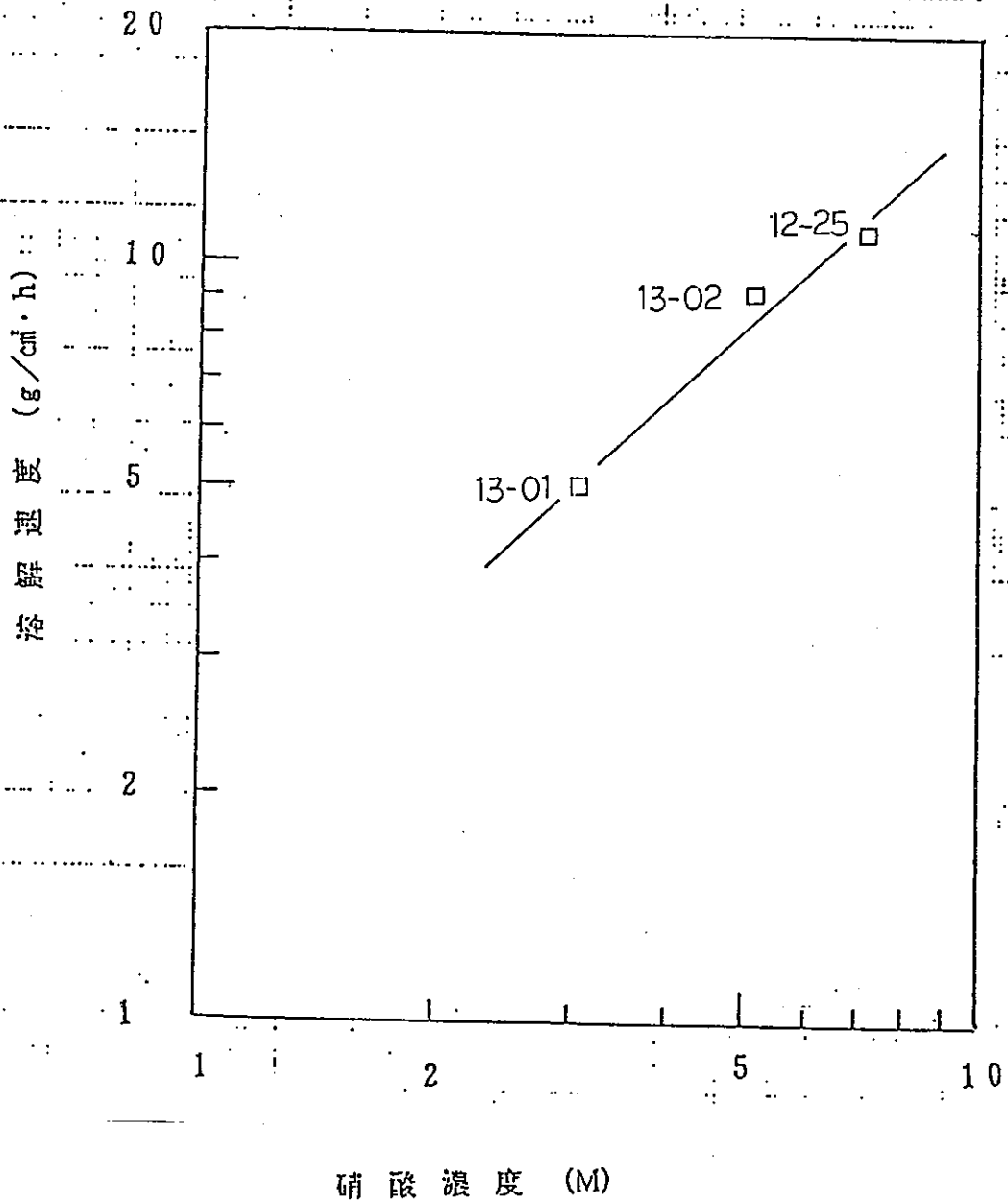


図 4. 5 3 溶解速度と初期硝酸濃度

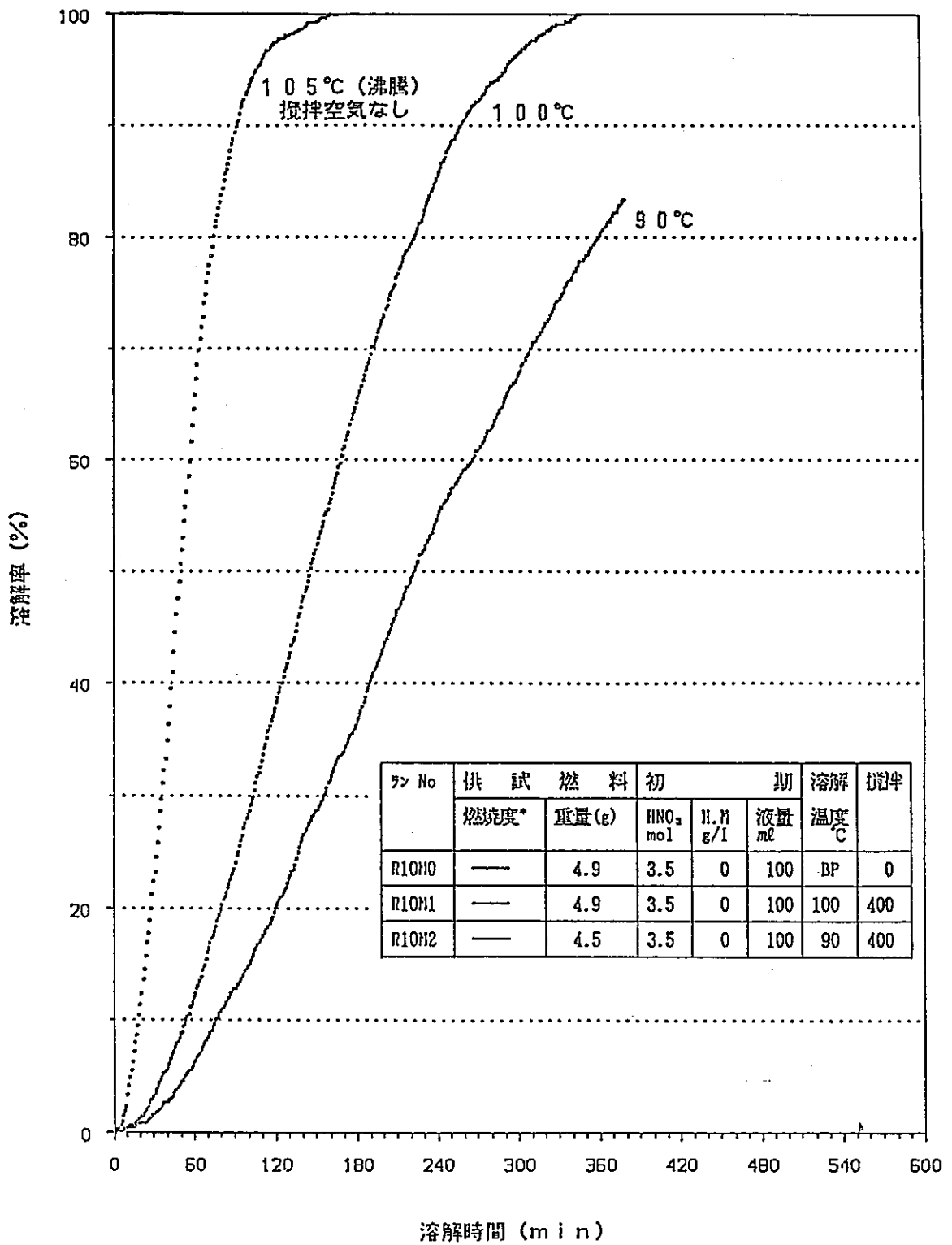


図 4. 5 4 溶解温度による影響

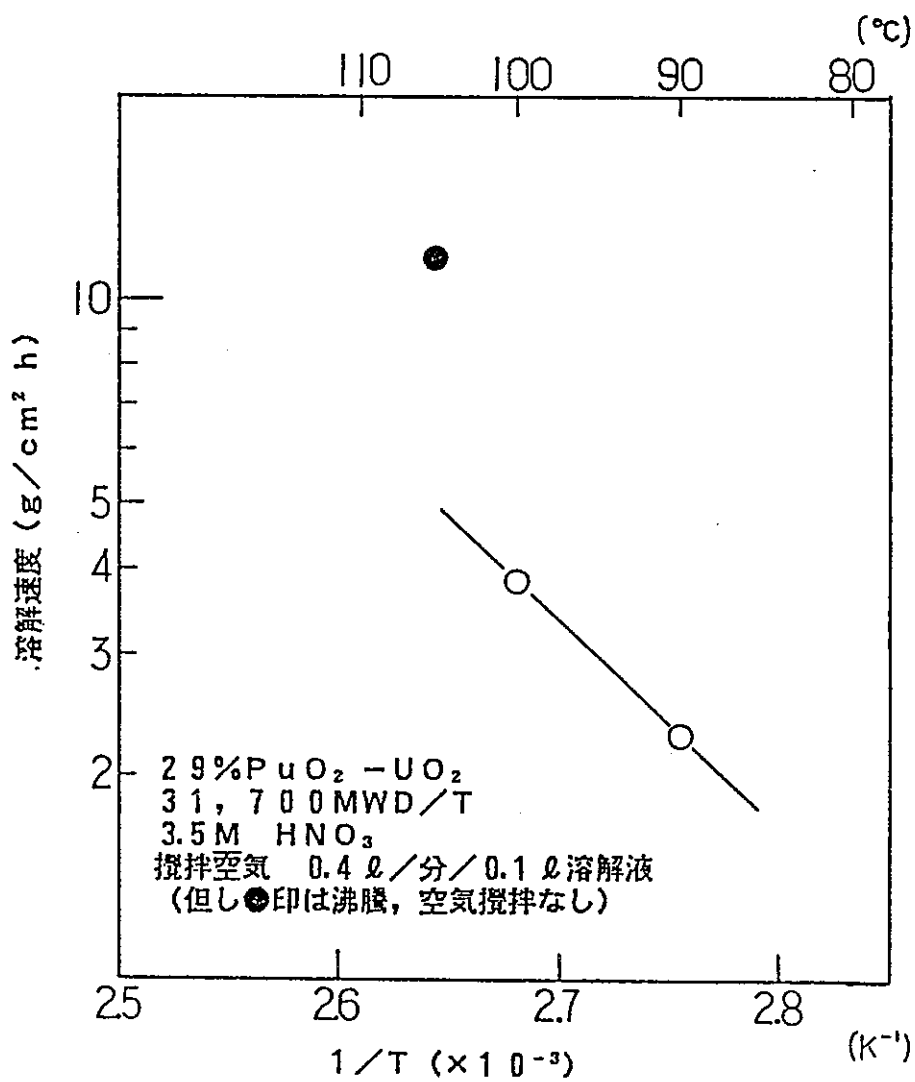


図 4. 5 5 溶解速度と溶解温度

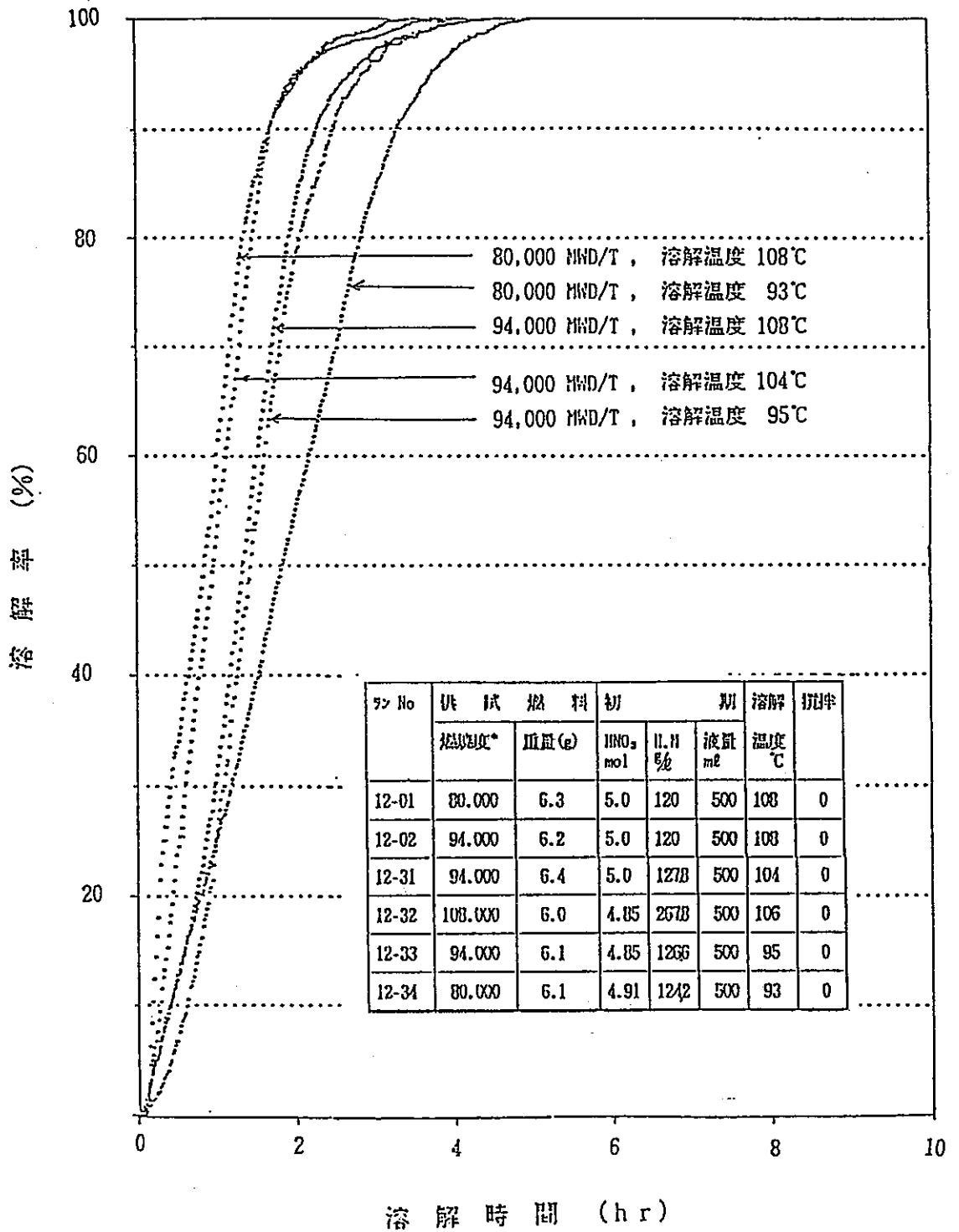


図4. 5 6 溶解温度による影響

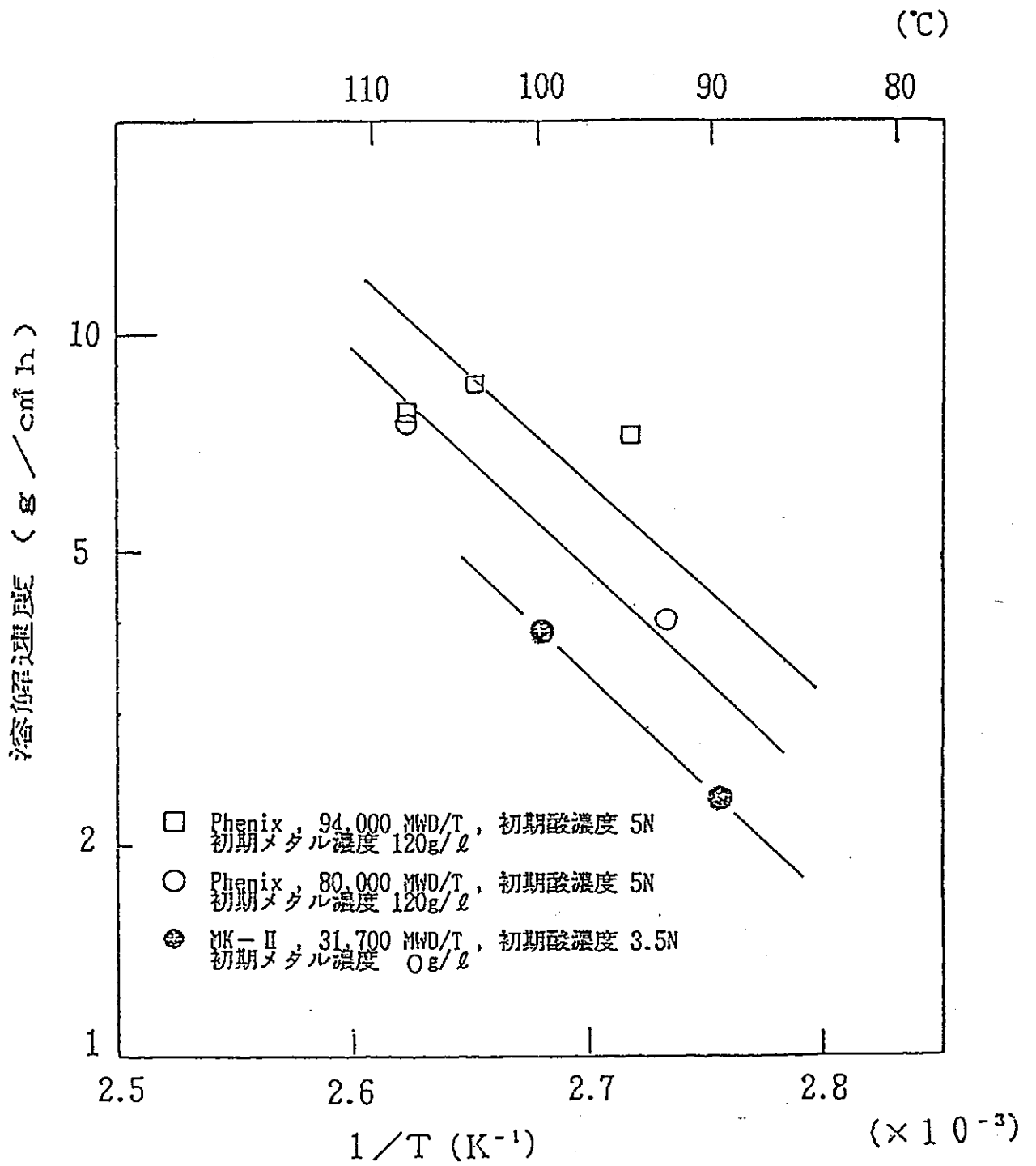


図 4. 5 7 溶解速度と溶解温度

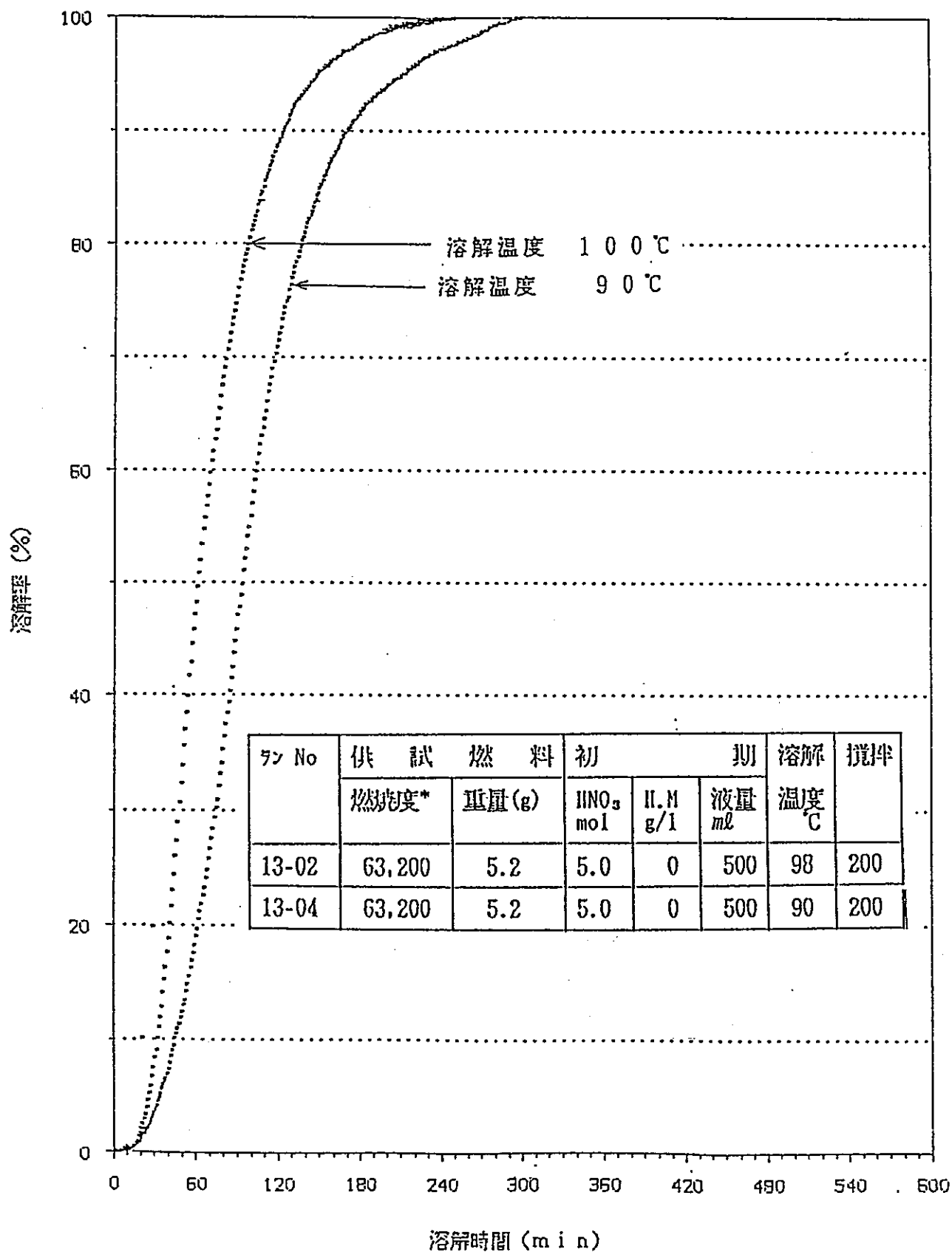


図 4. 5 8 (1) 溶解温度による影響

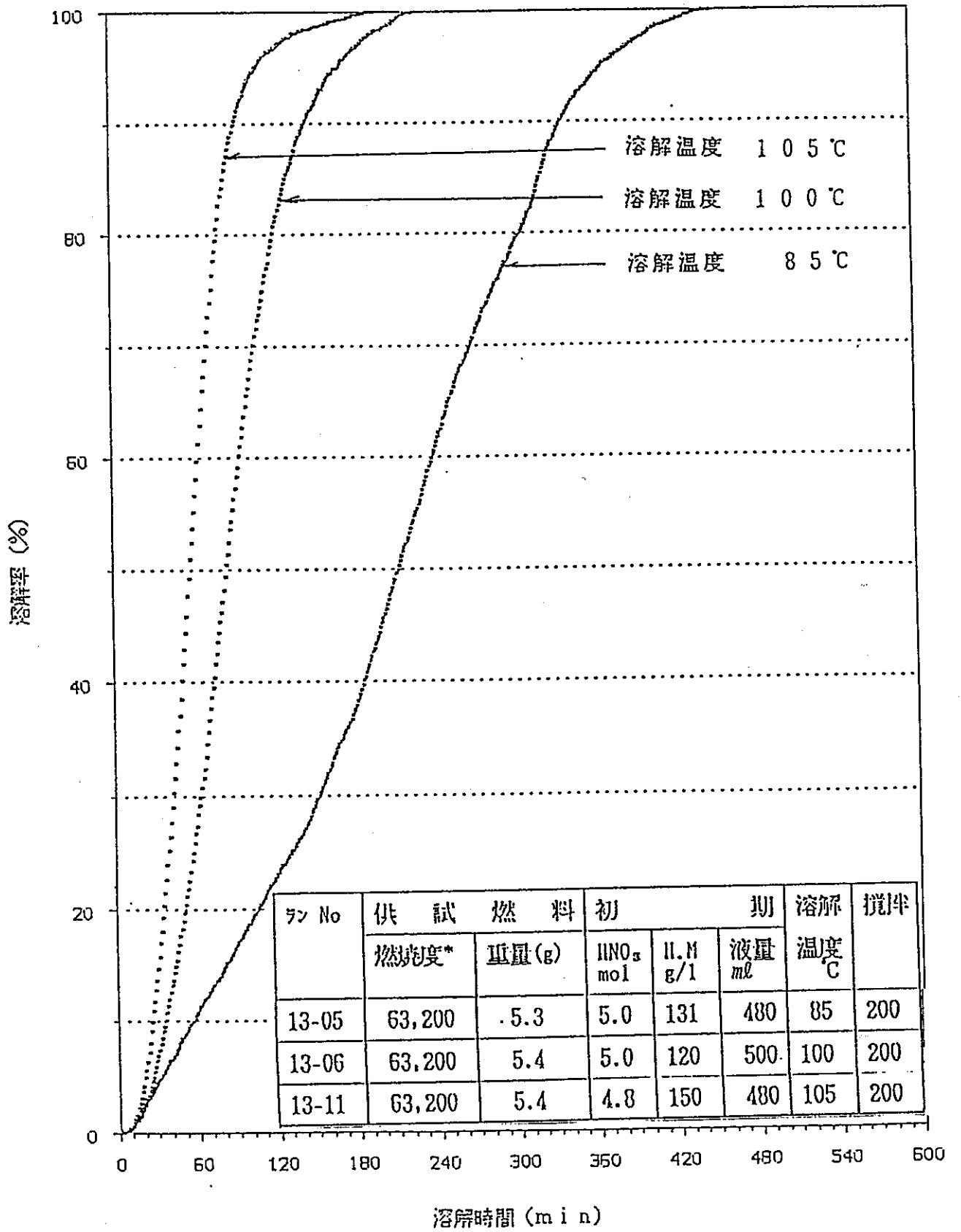


図 4. 5 8 (2) 溶解温度による影響

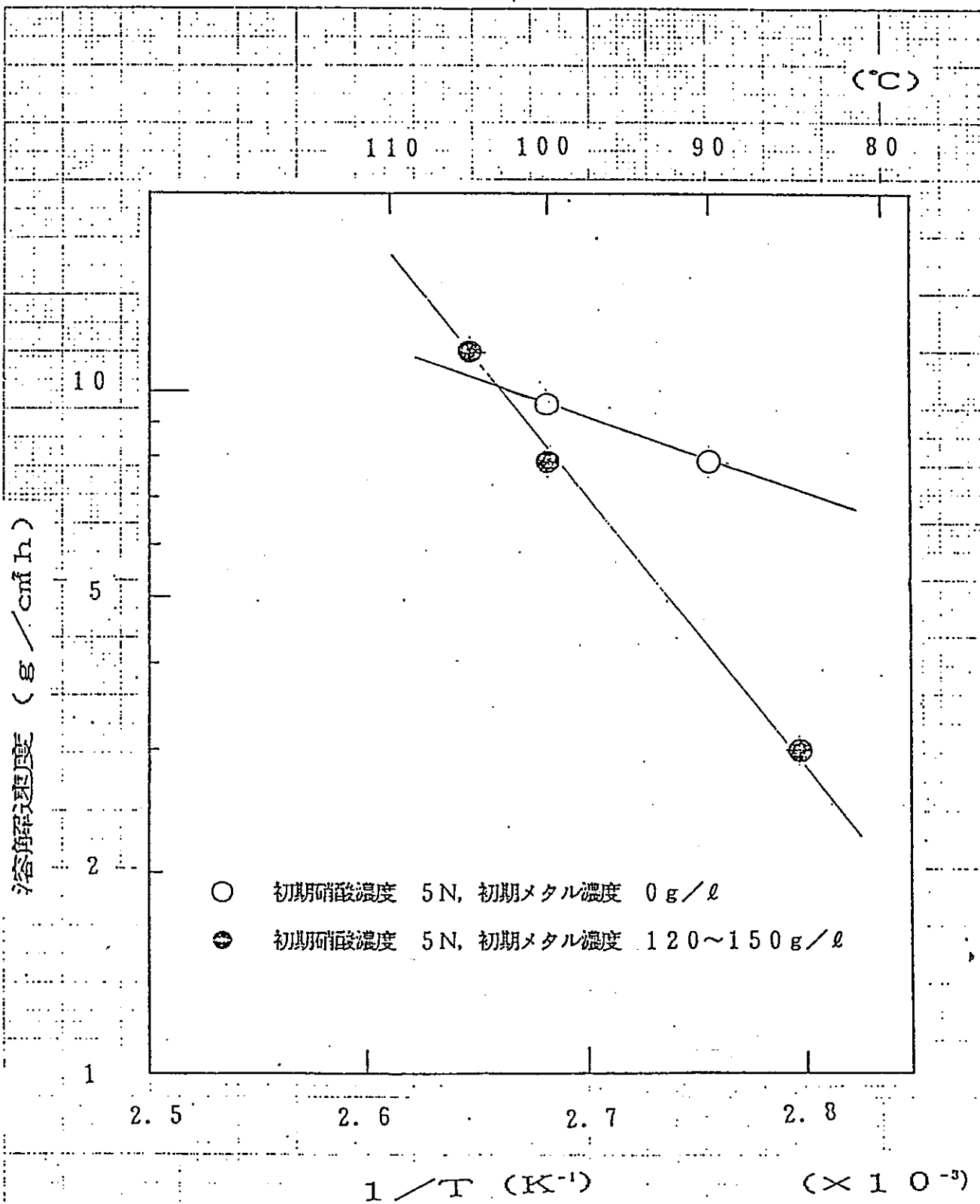


図4. 59 溶解速度と溶解温度

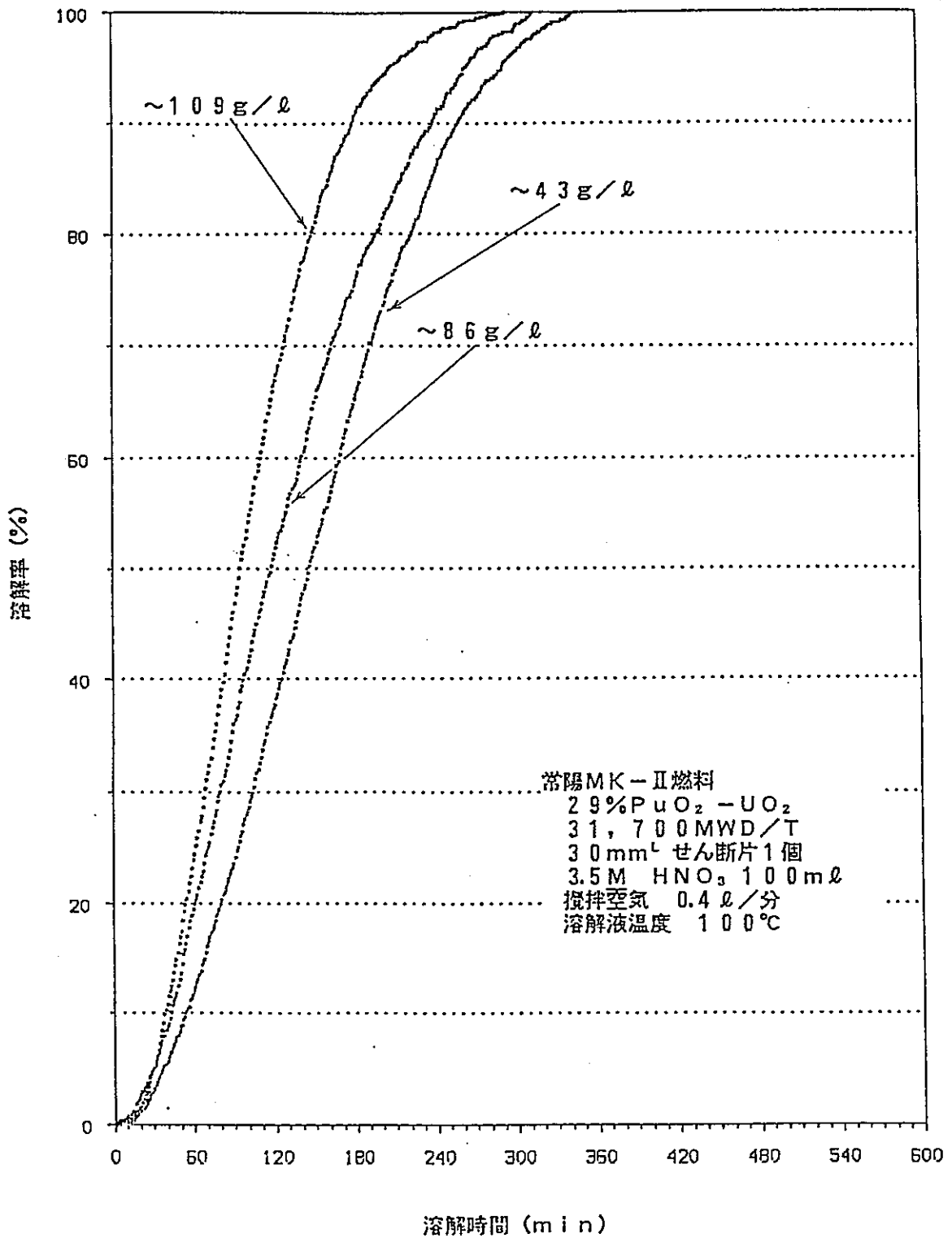


図4. 60 初期重金属濃度による影響

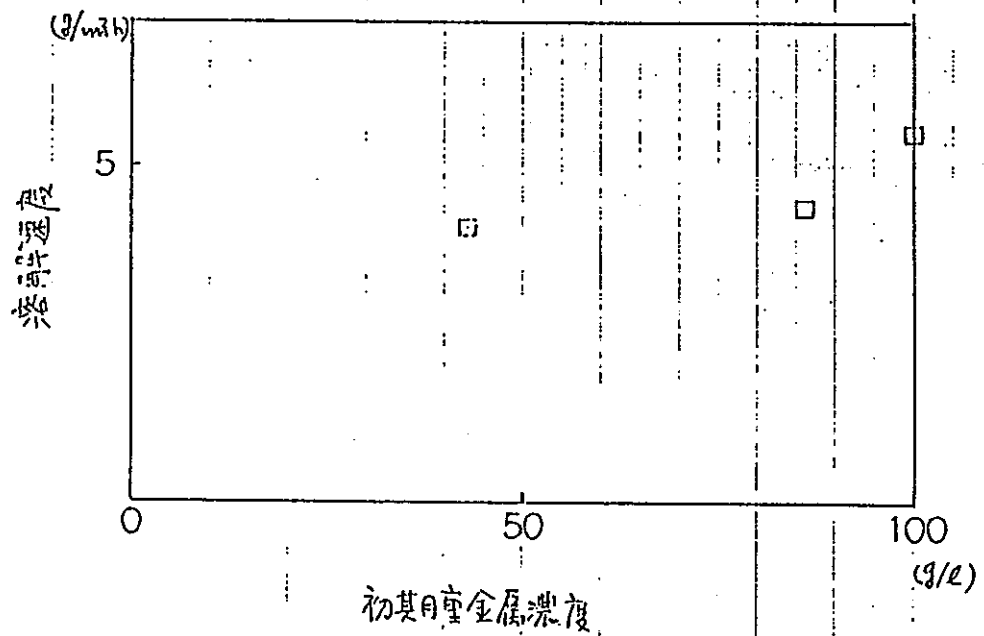


圖 4. 6 1 溶解速度と初期重金屬濃度

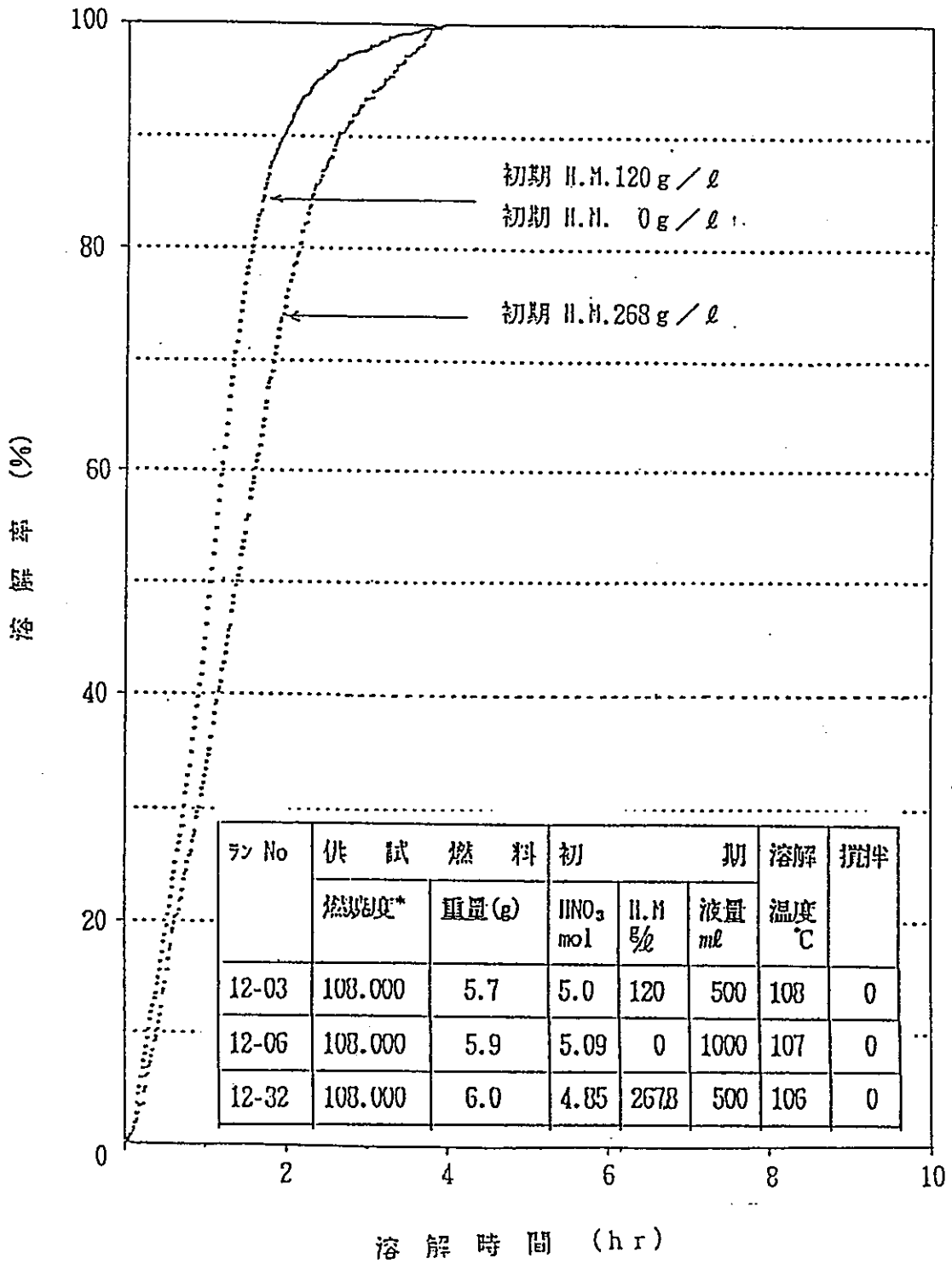


図 4. 6 2 初期重金属濃度による影響

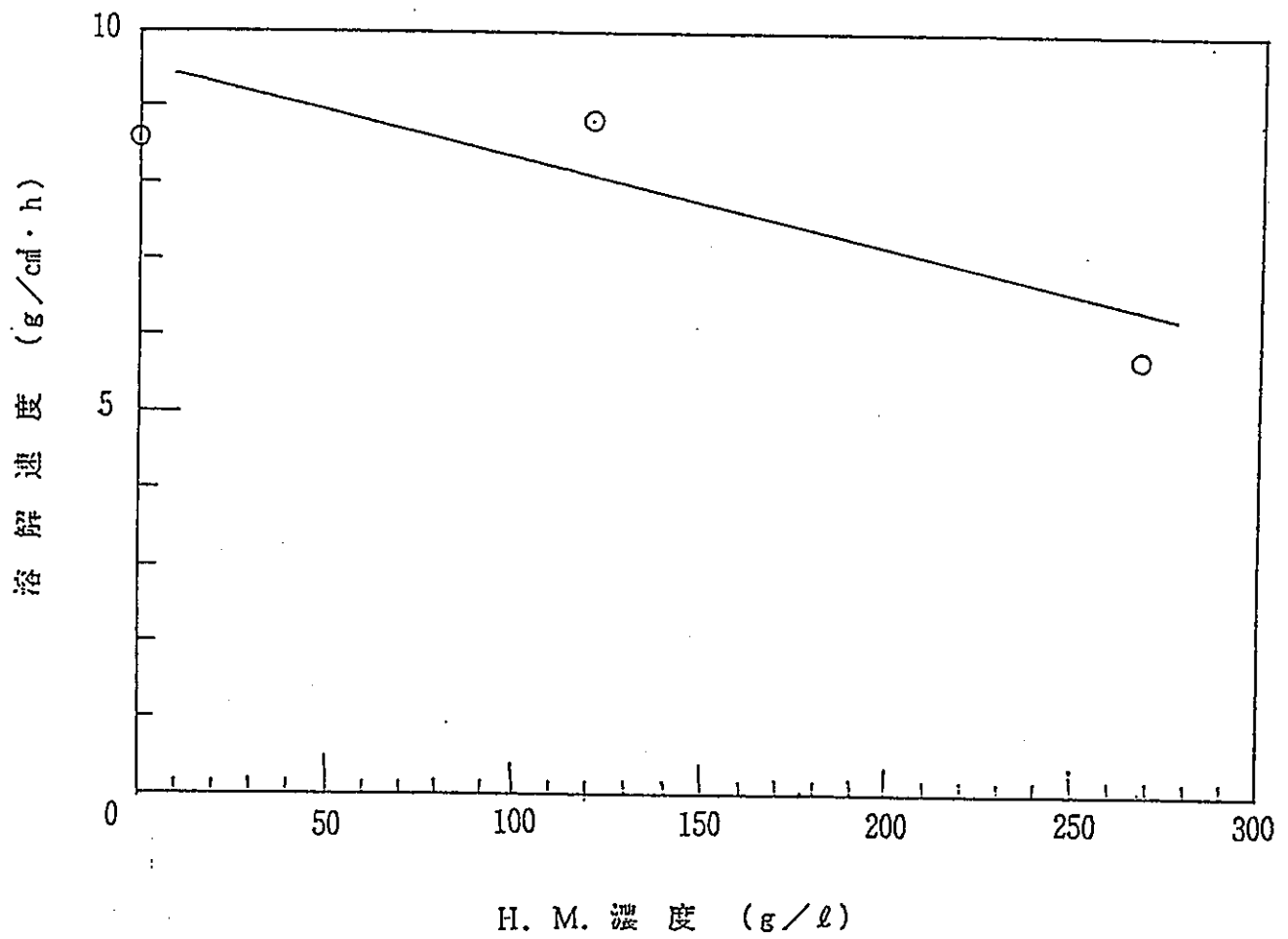


図 4. 6 3 溶解速度と初期重金属濃度

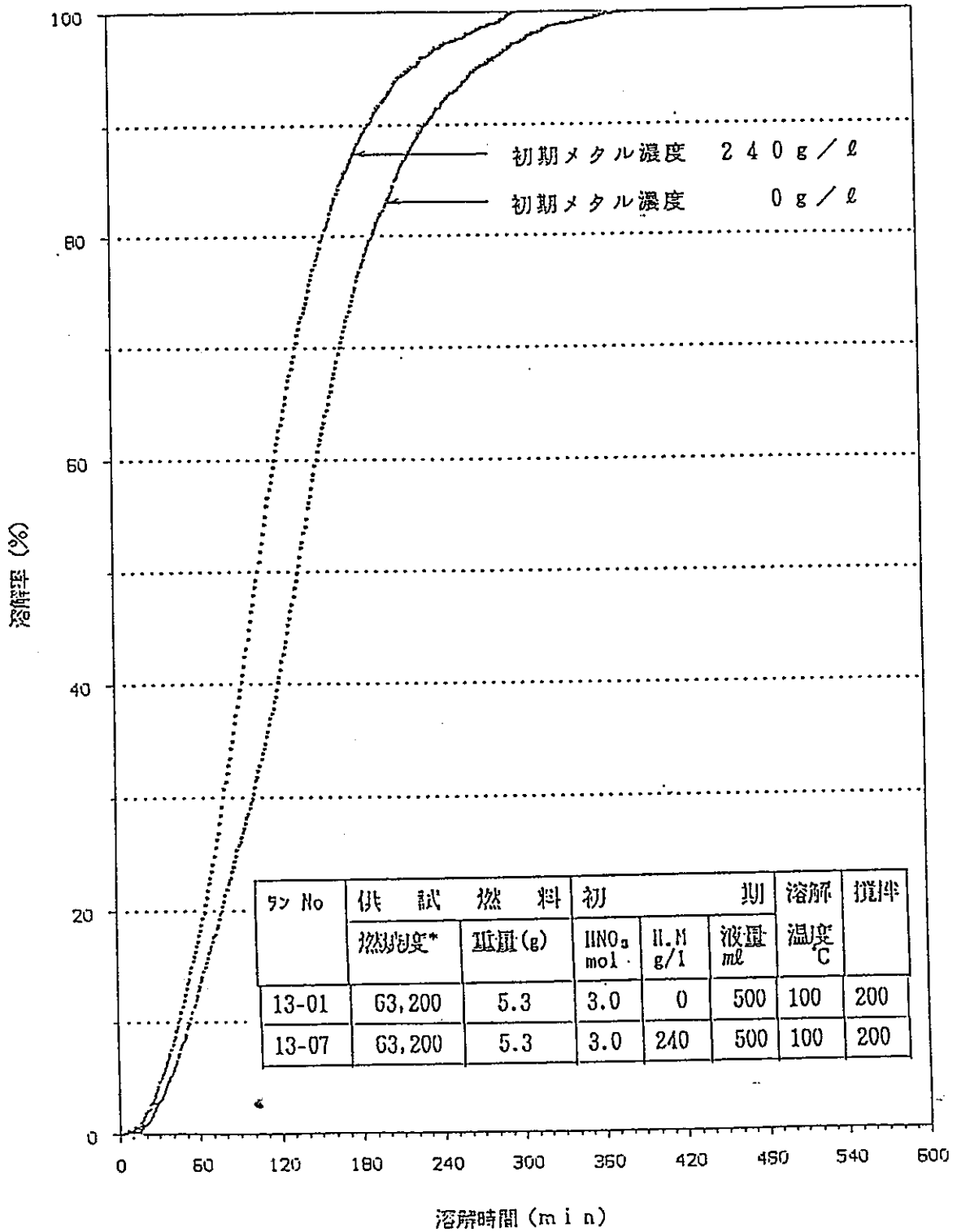


図 4. 6 4 (1) 初期重金属濃度による影響

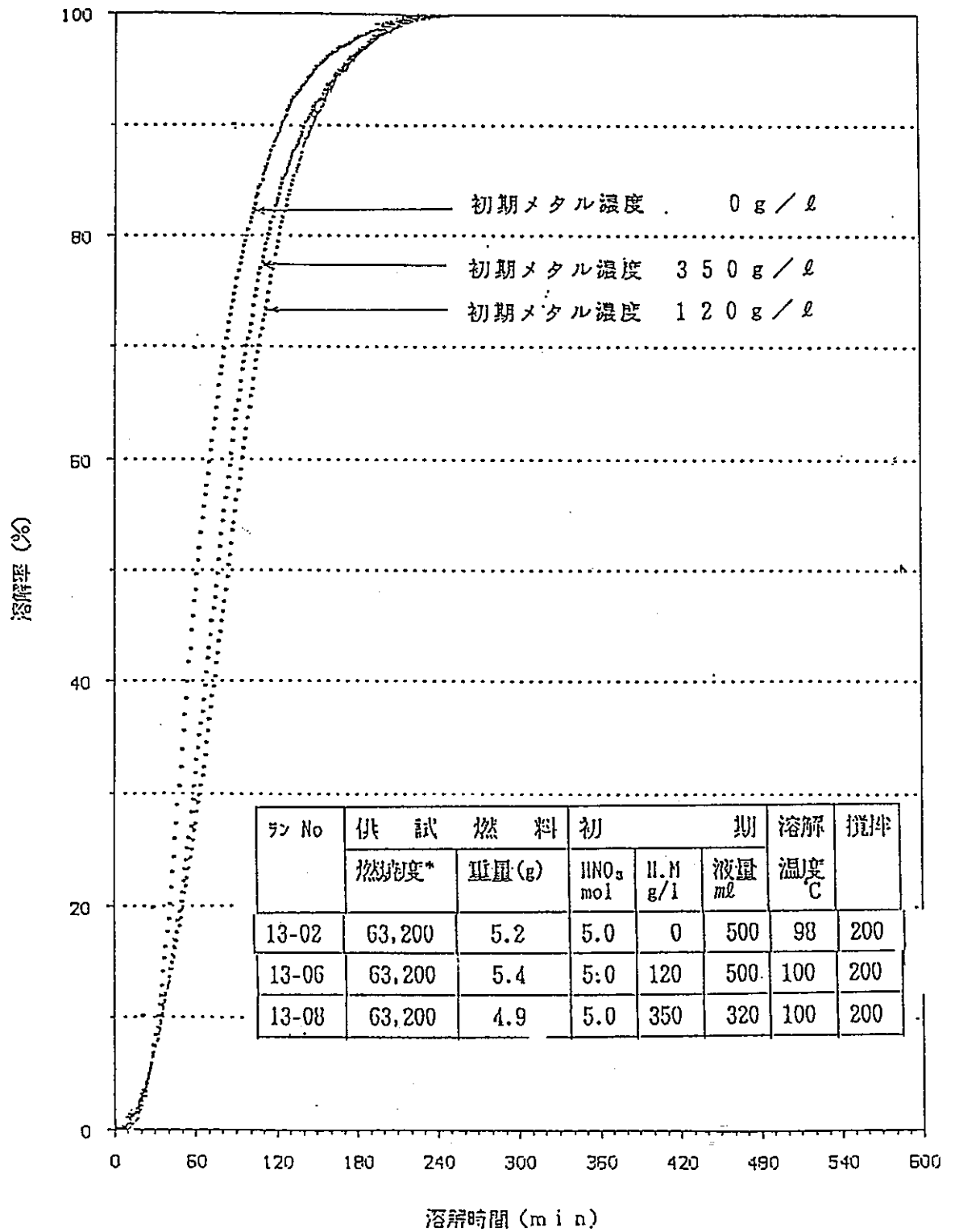


図 4. 6 4 (2) 初期重金属濃度による影響

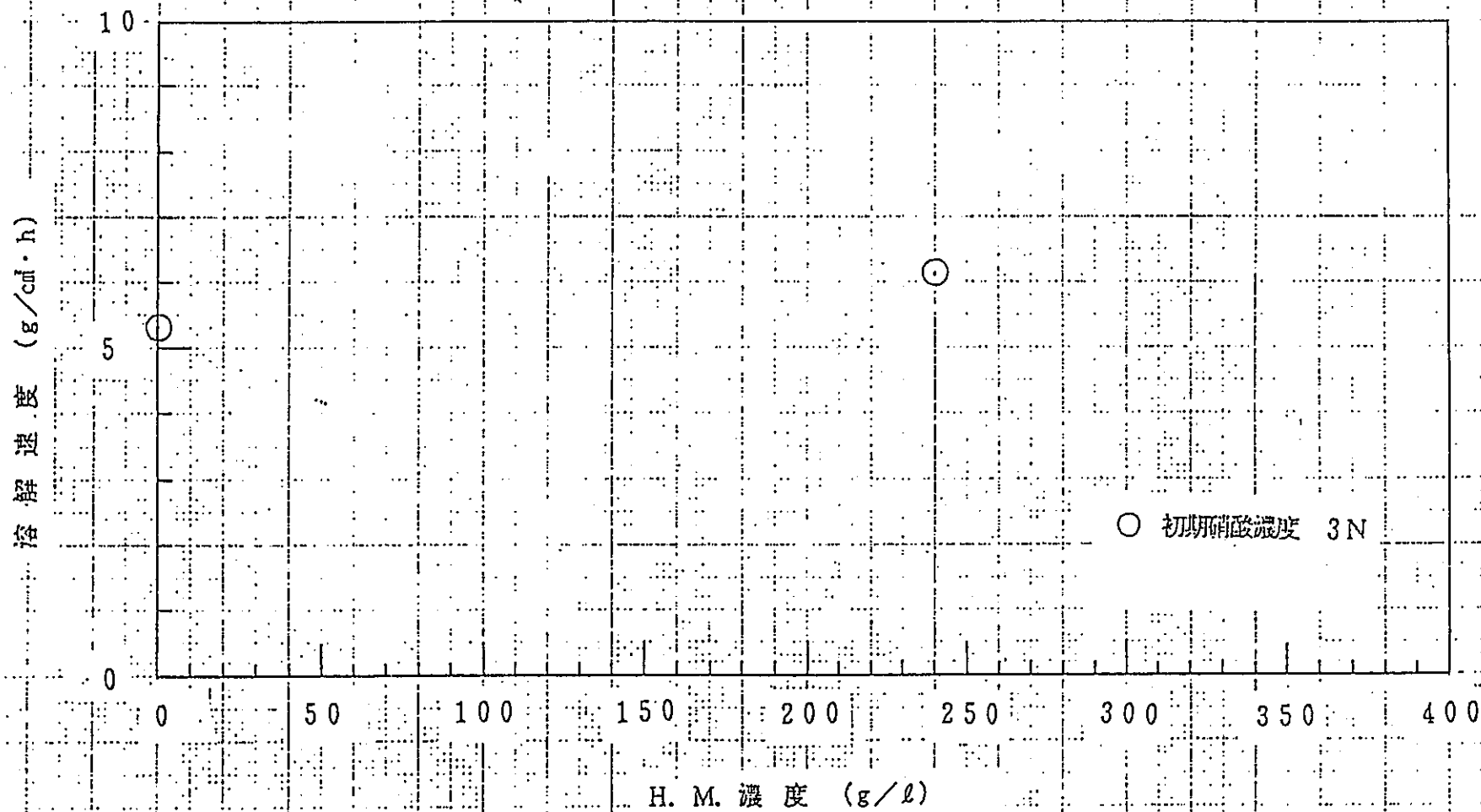


図4.65 (1) 溶解速度と初期重金属濃度

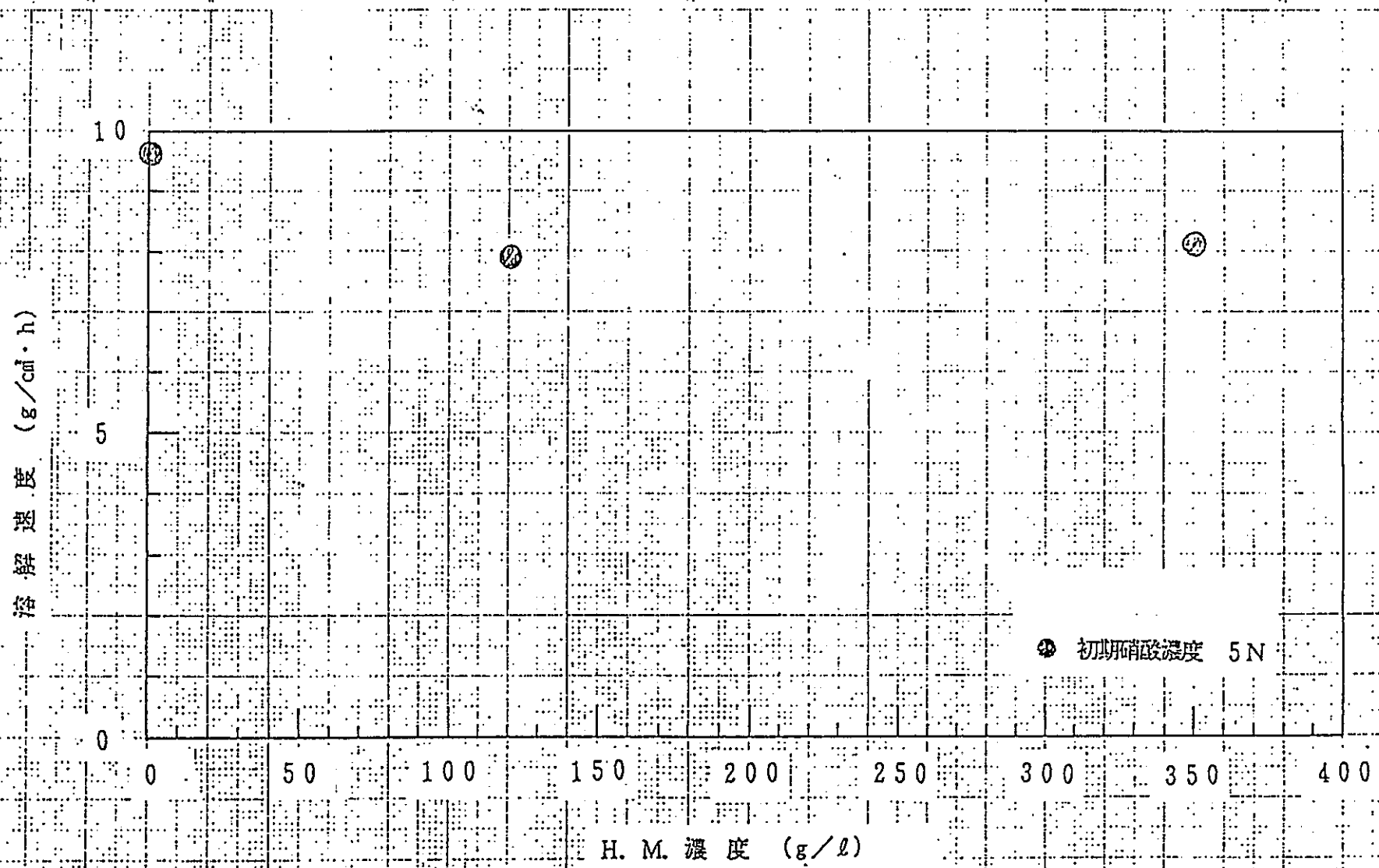


図 4.6 5 (2) 溶解速度と初期重金属濃度

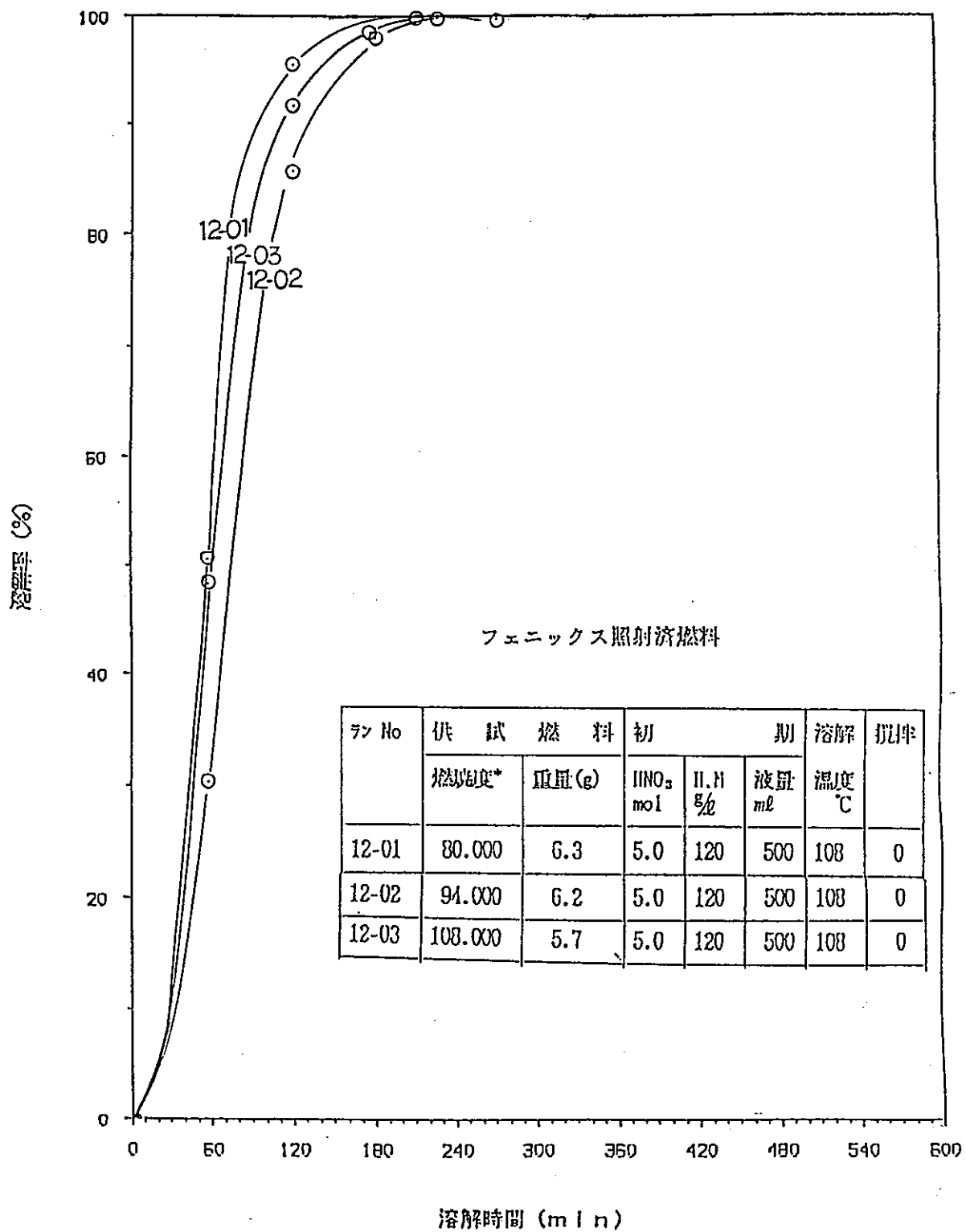


図 4. 6 6 (a) 溶解率と時間との関係

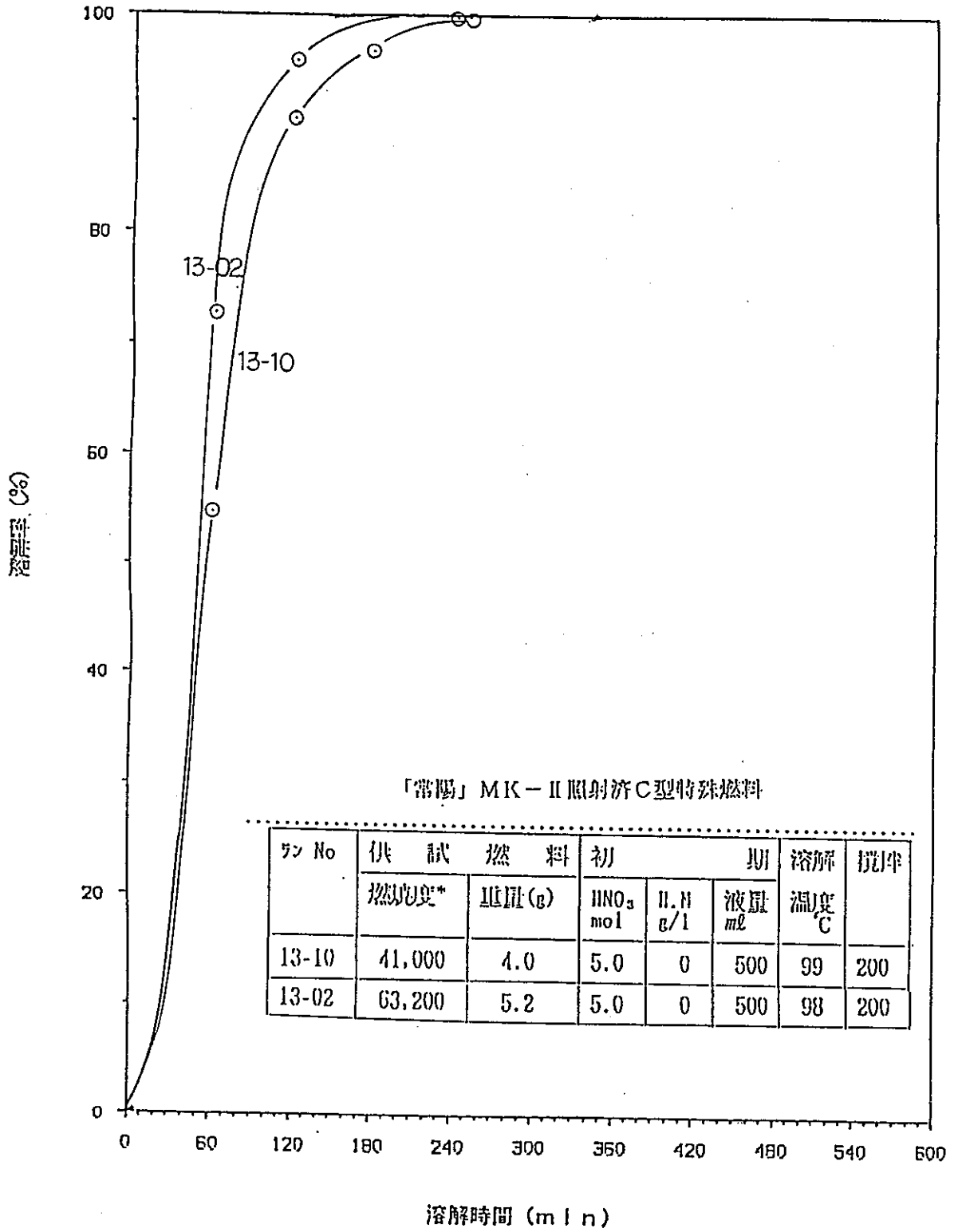


図 4. 6 6 (b) 溶解特性生由線

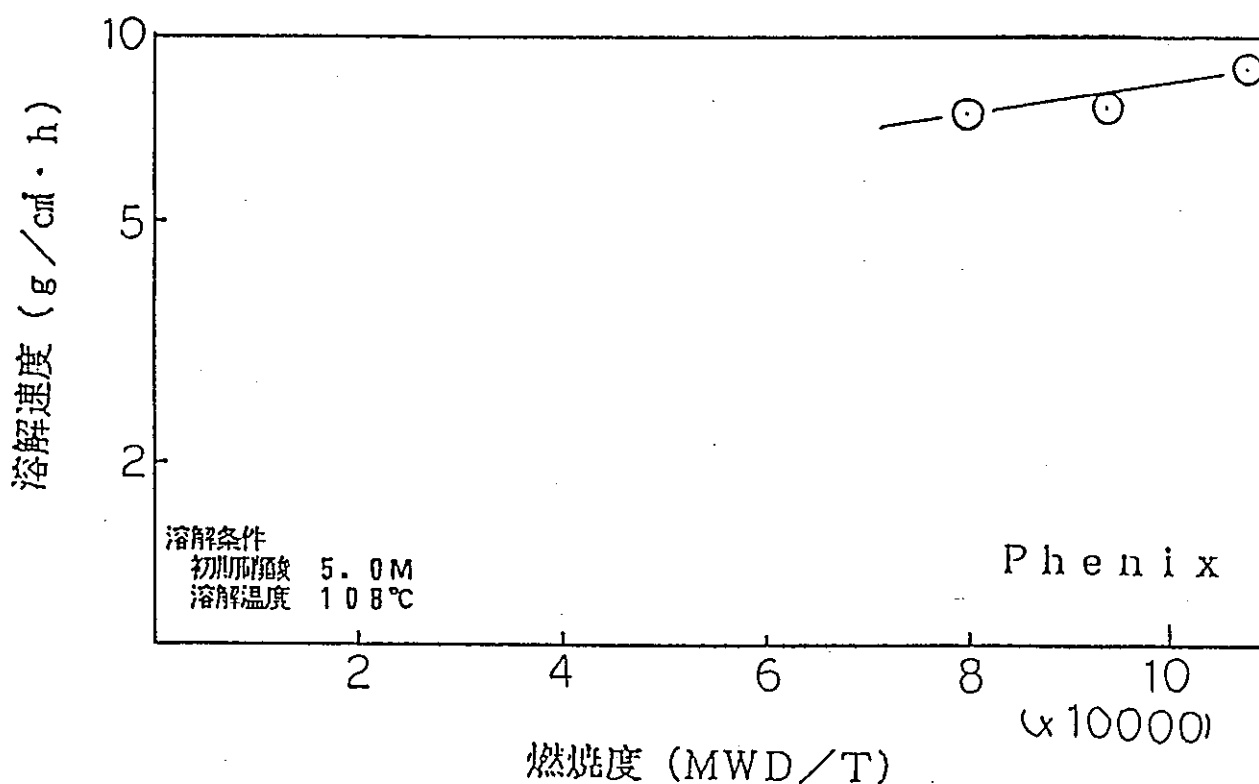
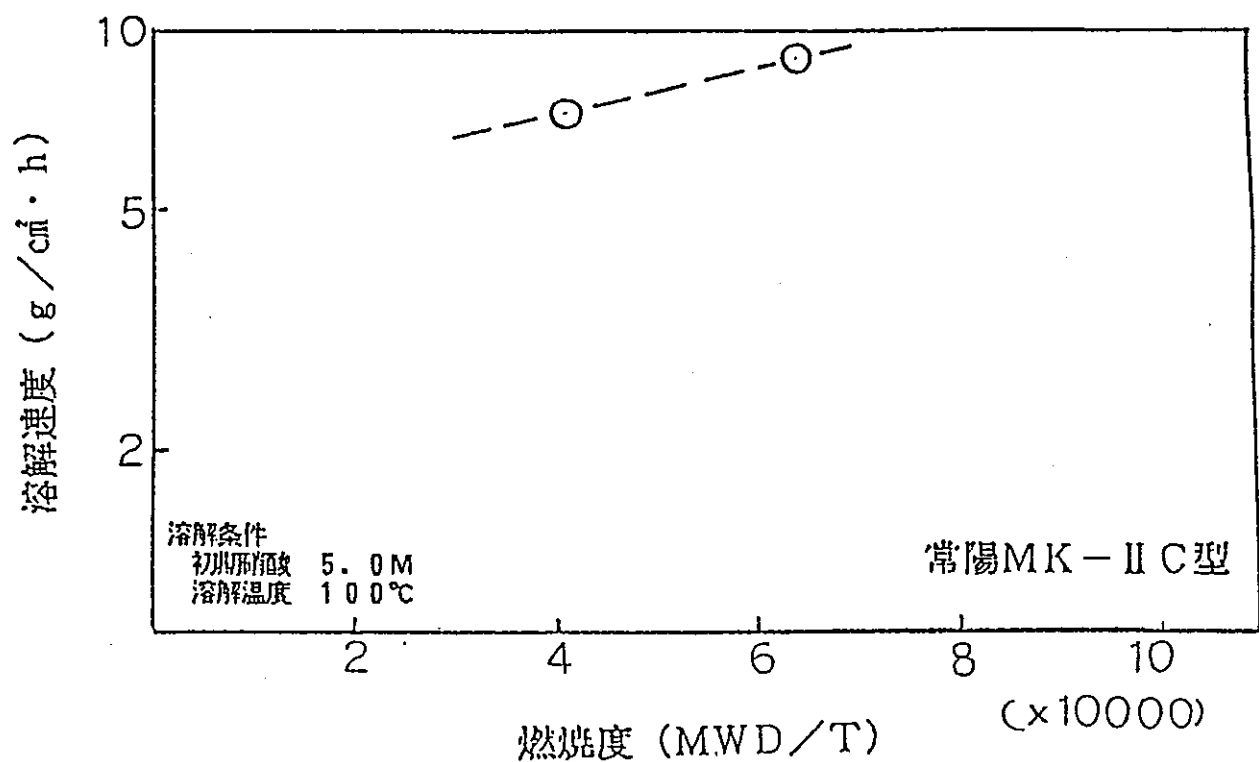


図 4. 6 6 (c) 燃料ピンの軸方向燃焼度による影響

ビーカースケール溶解試験

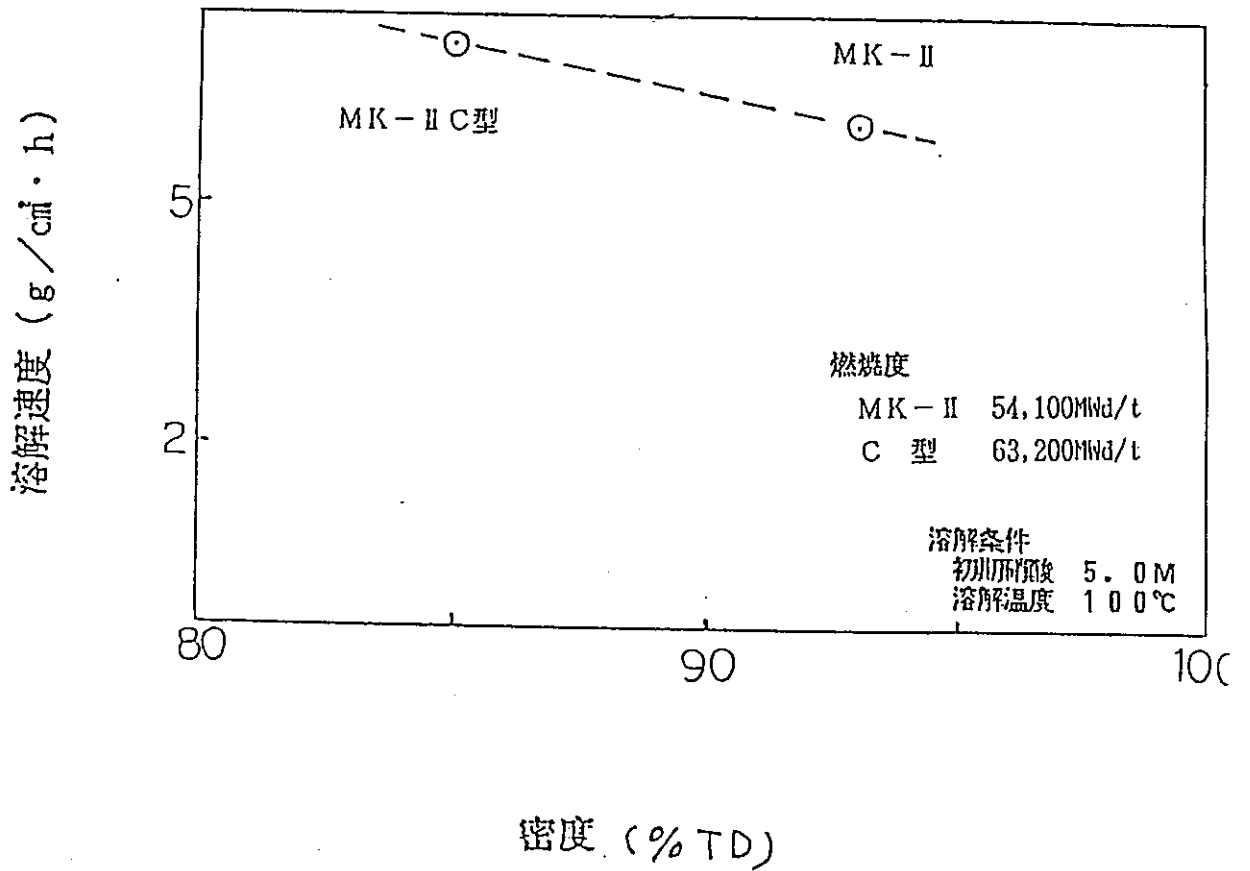


図 4. 67

密度による影響

ビーカースケール溶解試験

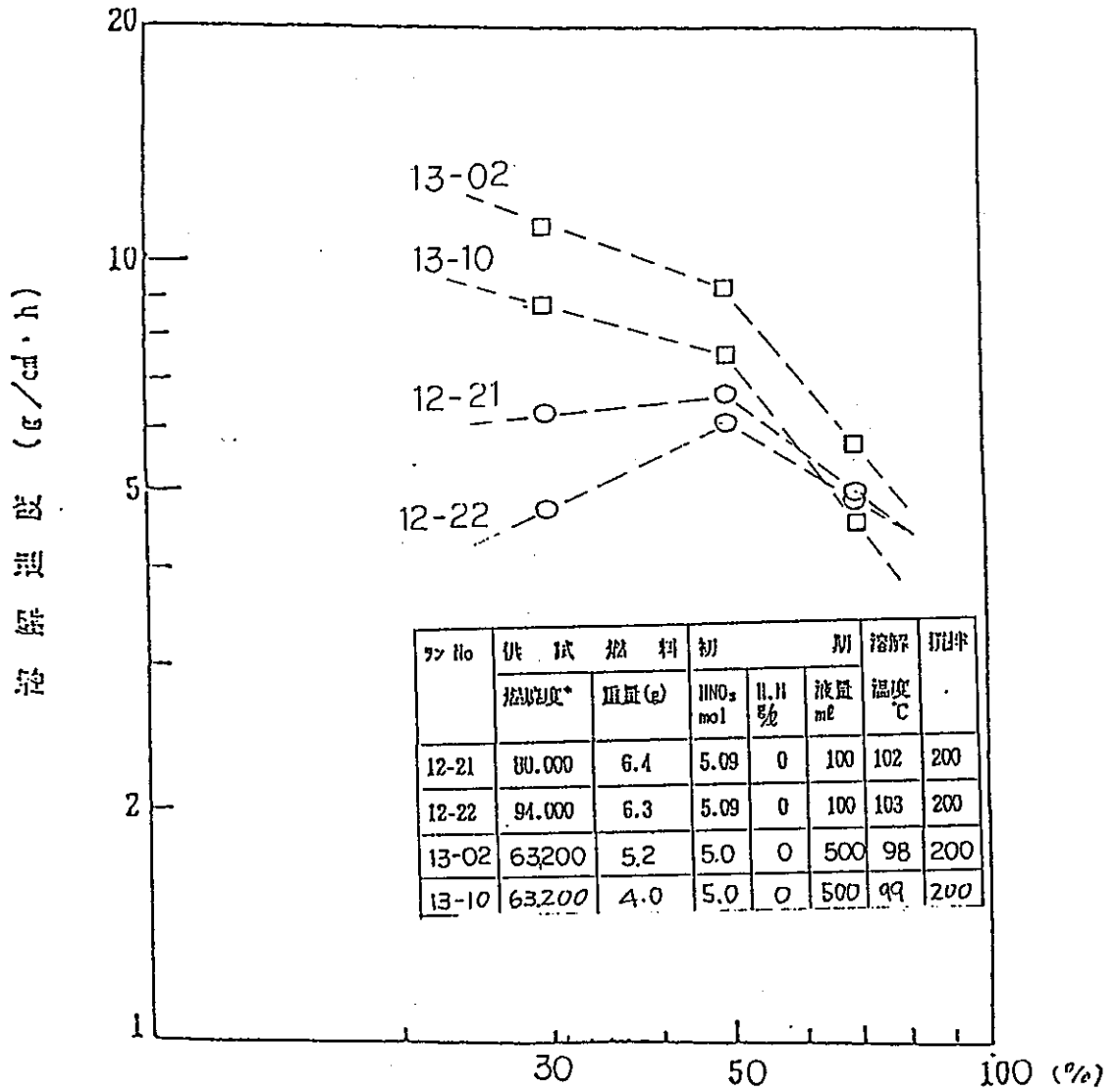


図 4.6 8

溶解率における溶解速度

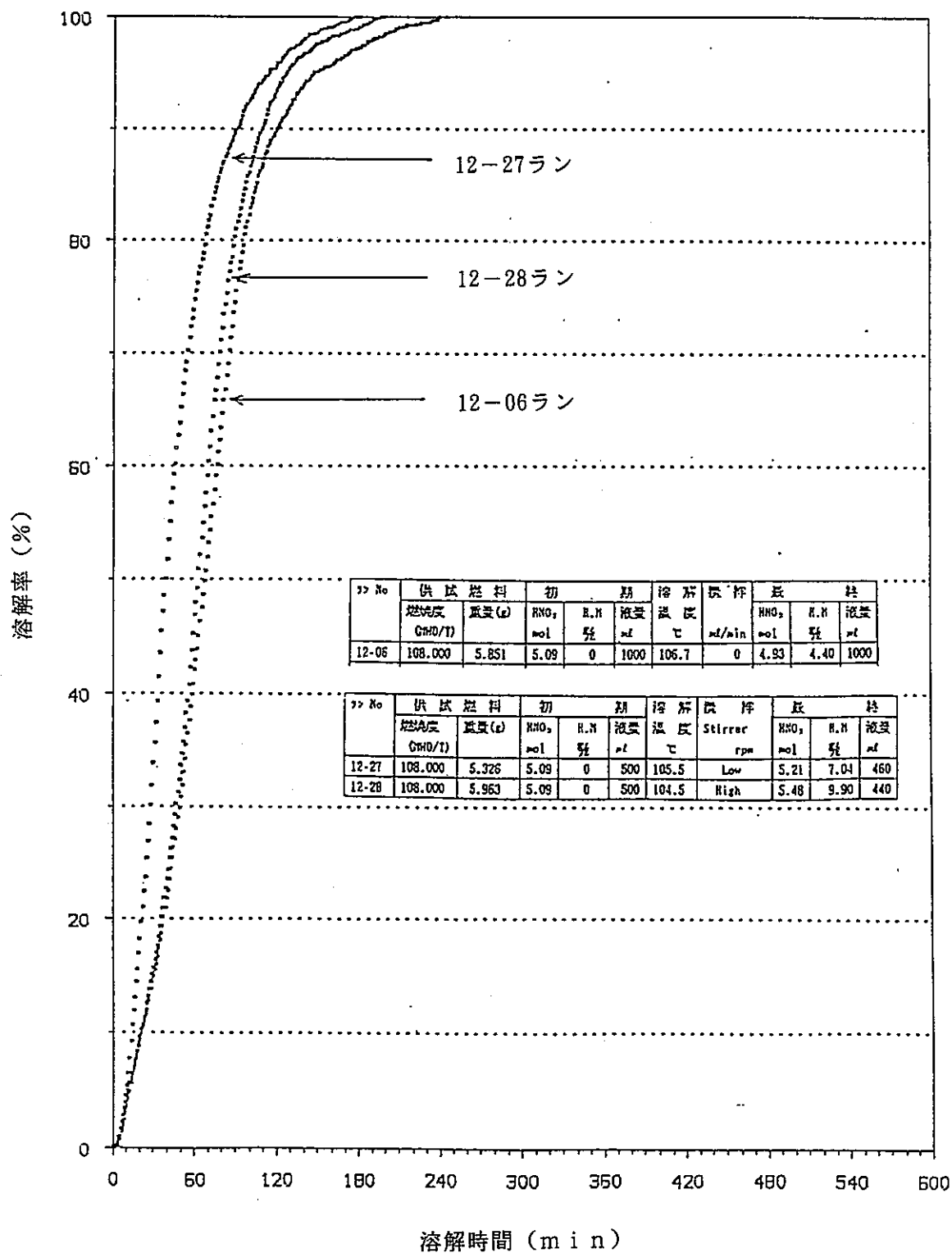


図 4.69

溶解率と攪拌による影響

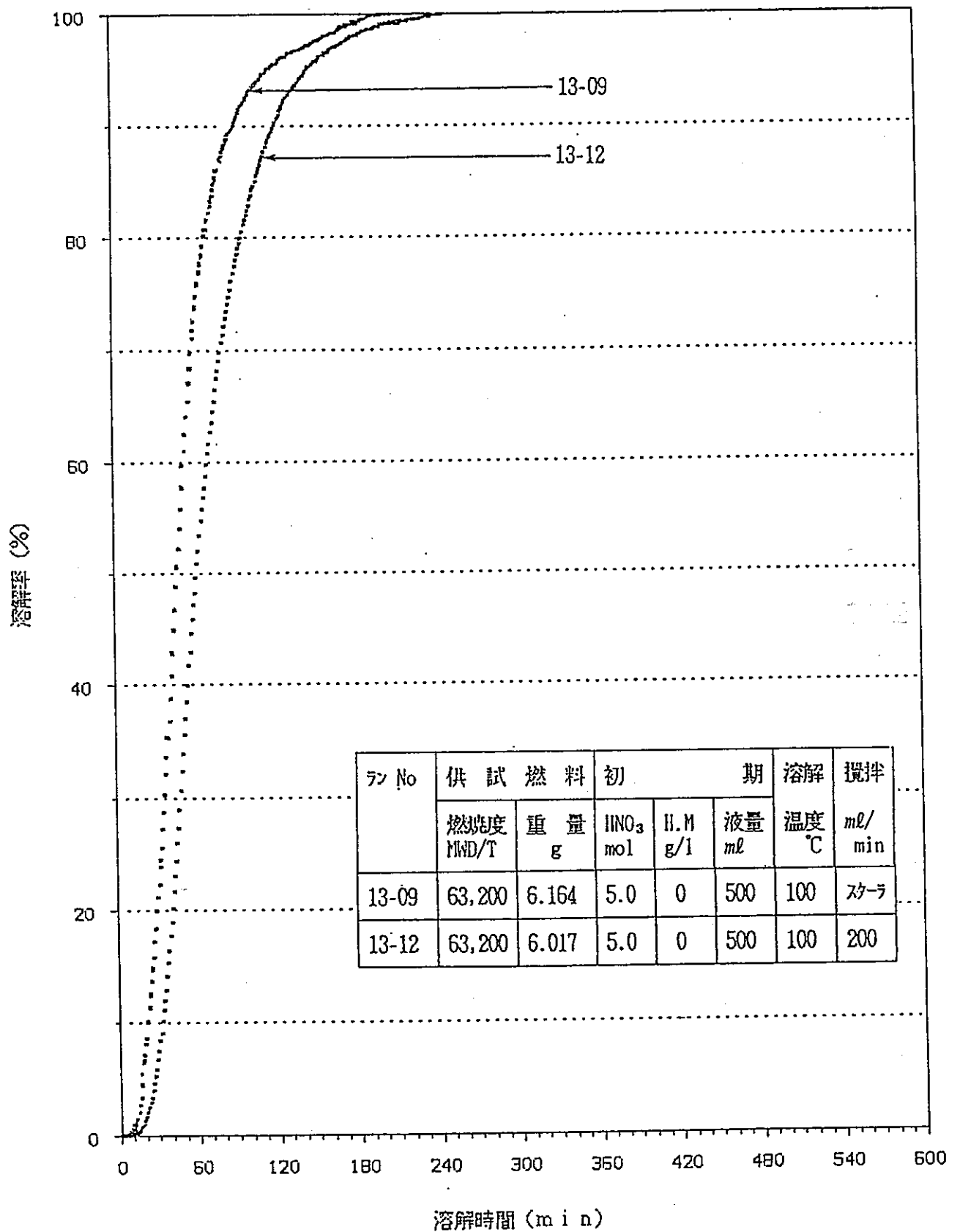


図 4.70 溶解率特性曲線 攪拌による影響

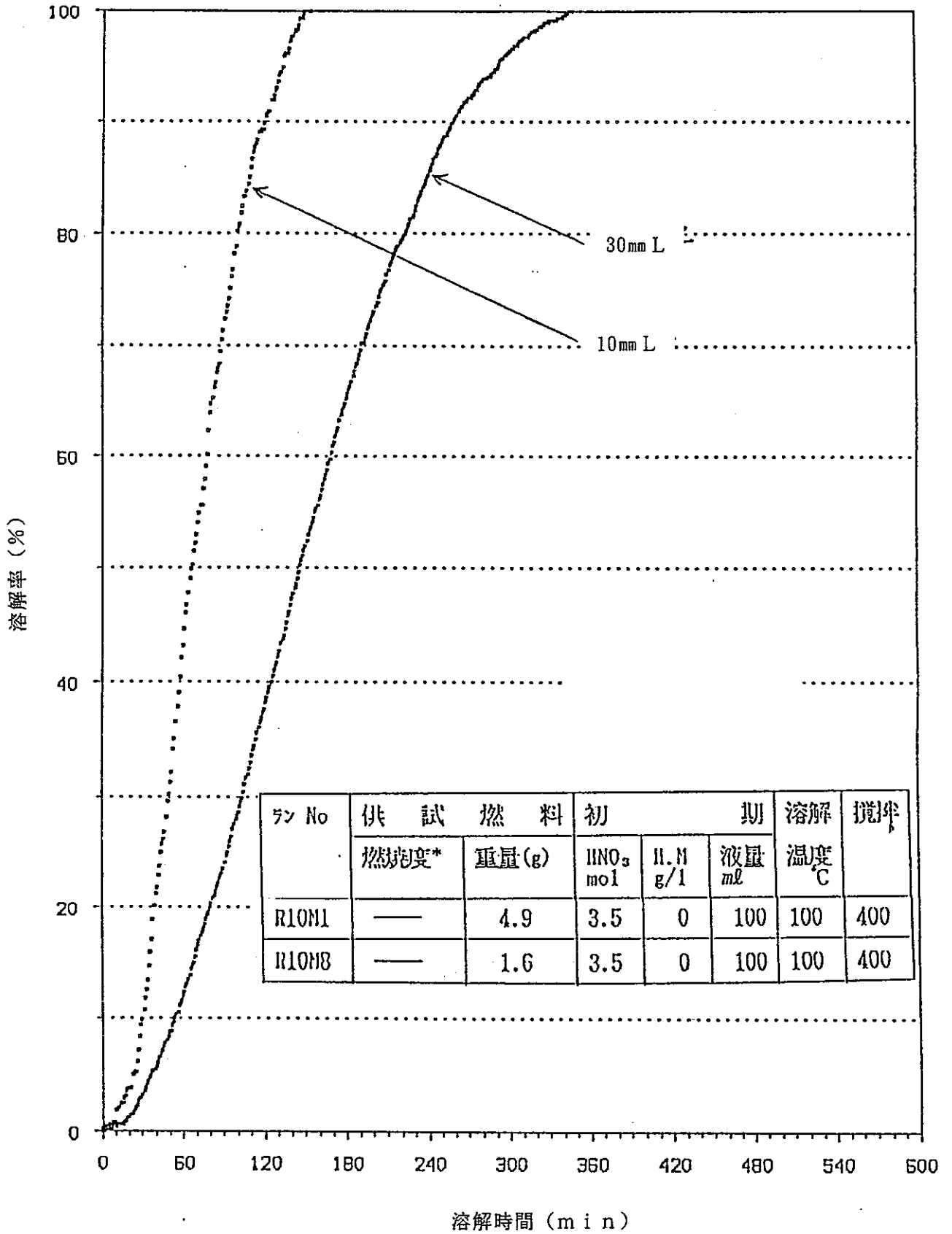


図 4. 7 1

溶解率特性曲線 せん断片長さ

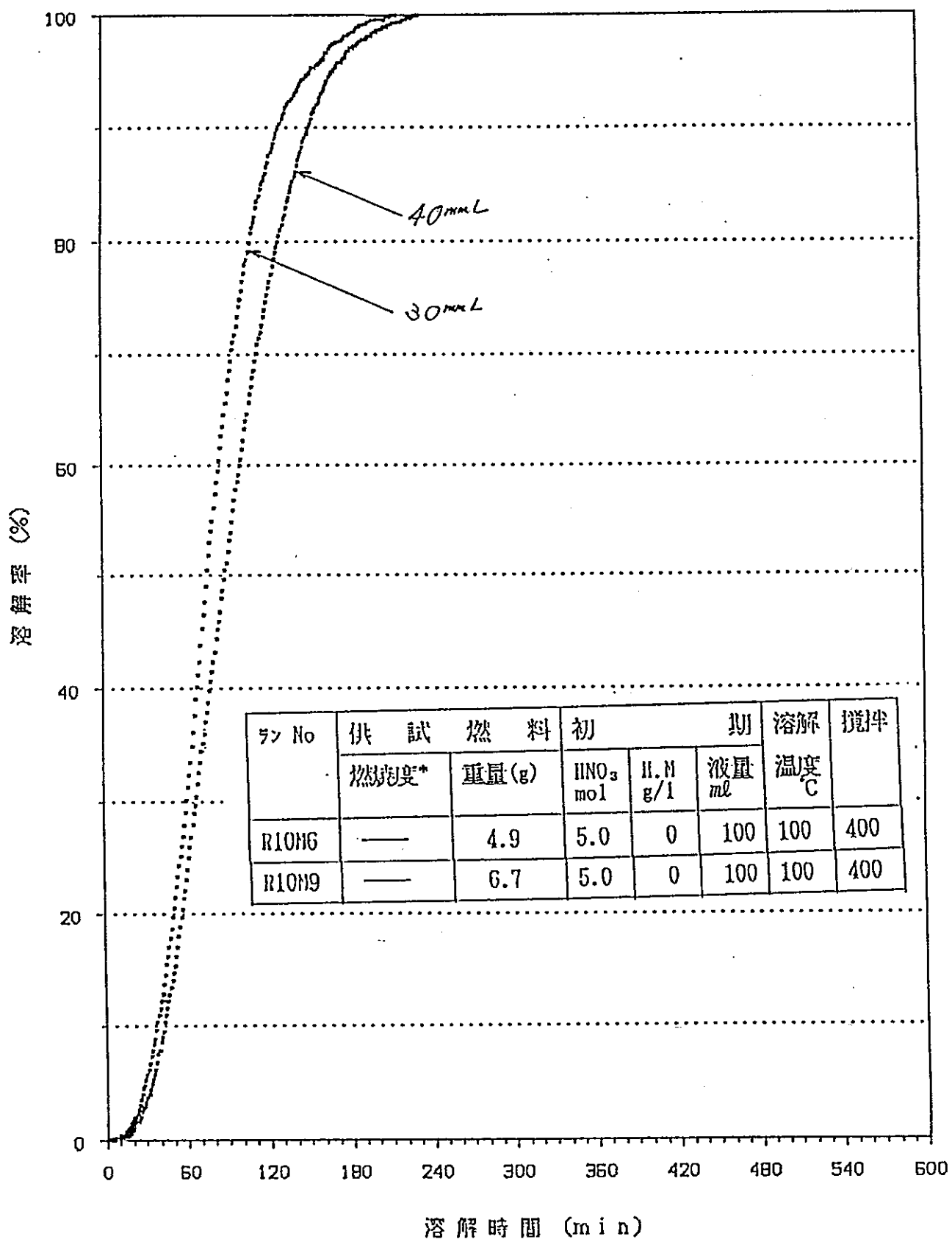


図 4. 7 2

溶解率と燃焼性との関係 せん断片長さ

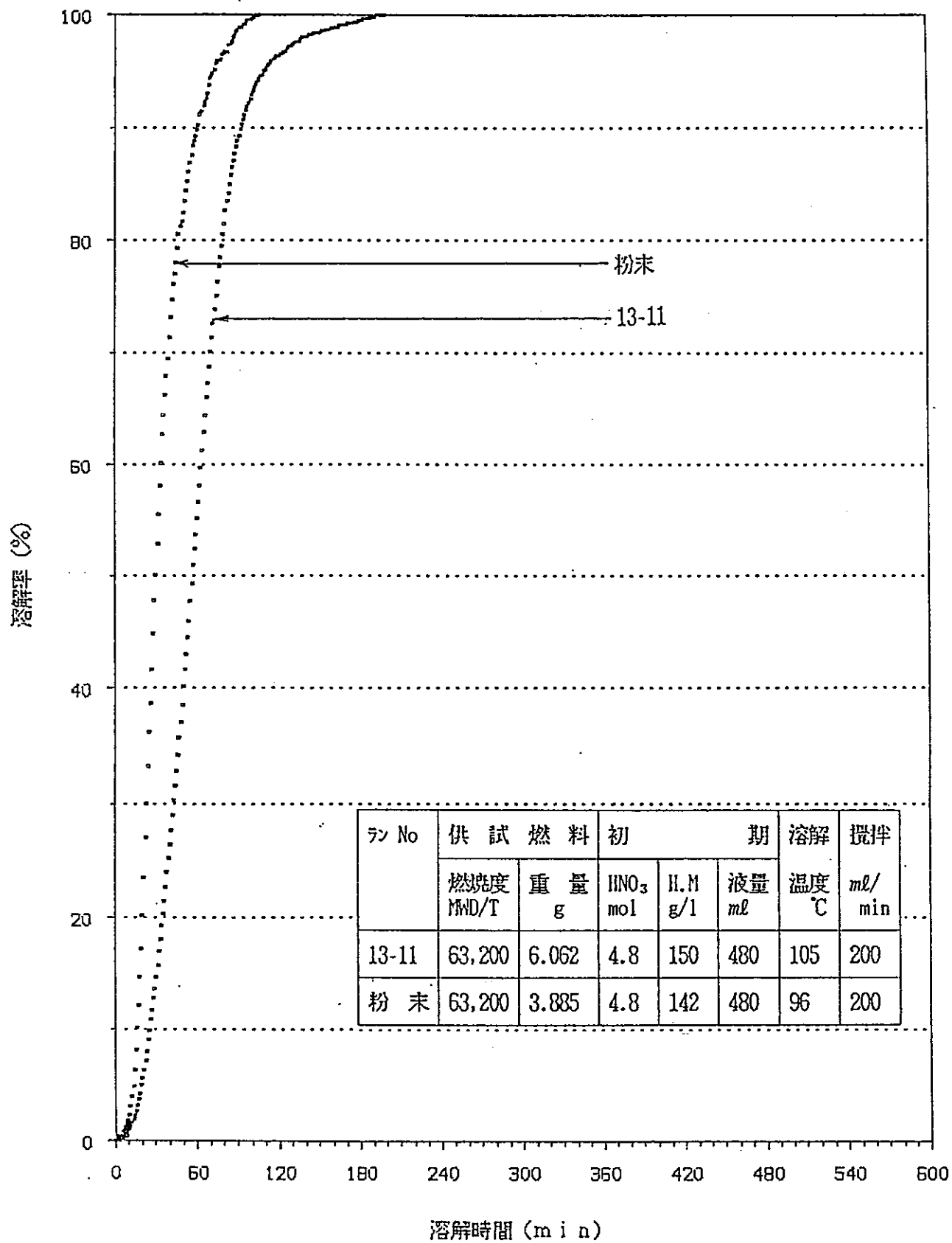
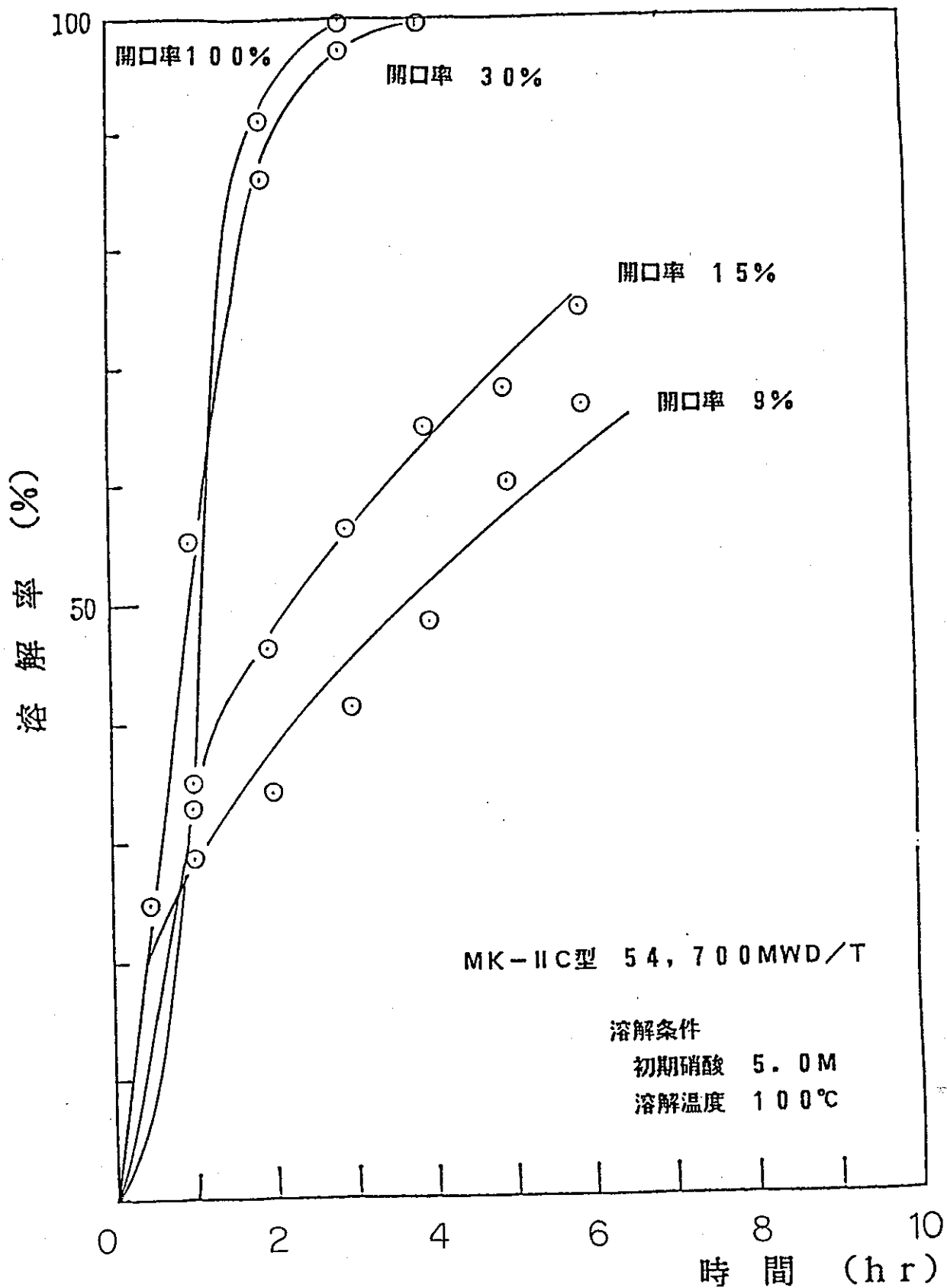


図 4.7 3 溶解率特性曲線 せん断片と粉末



開口率による影響

図 4.74

ビーカースケール溶解試験

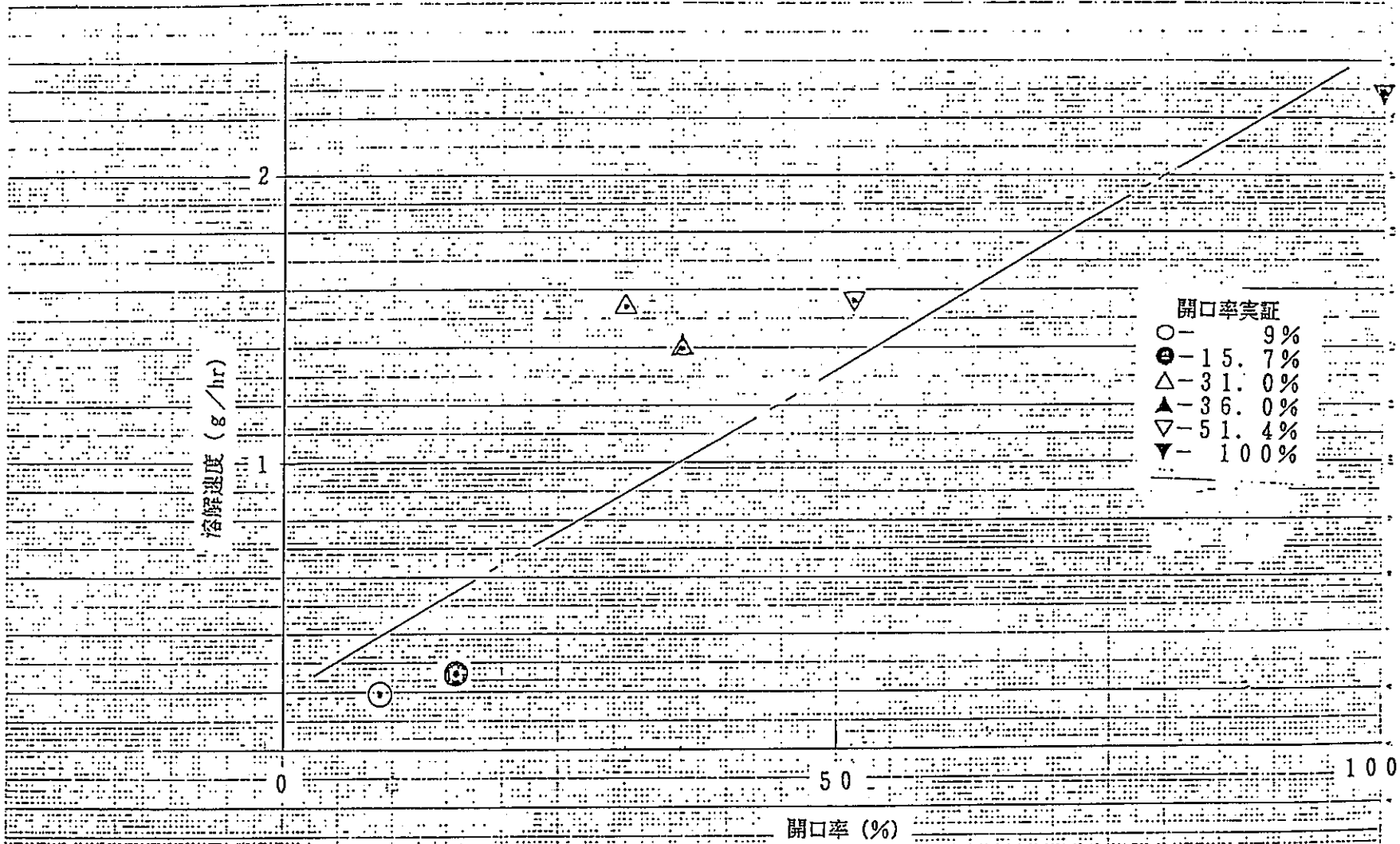


図 4.7 5

溶解速度と開口率

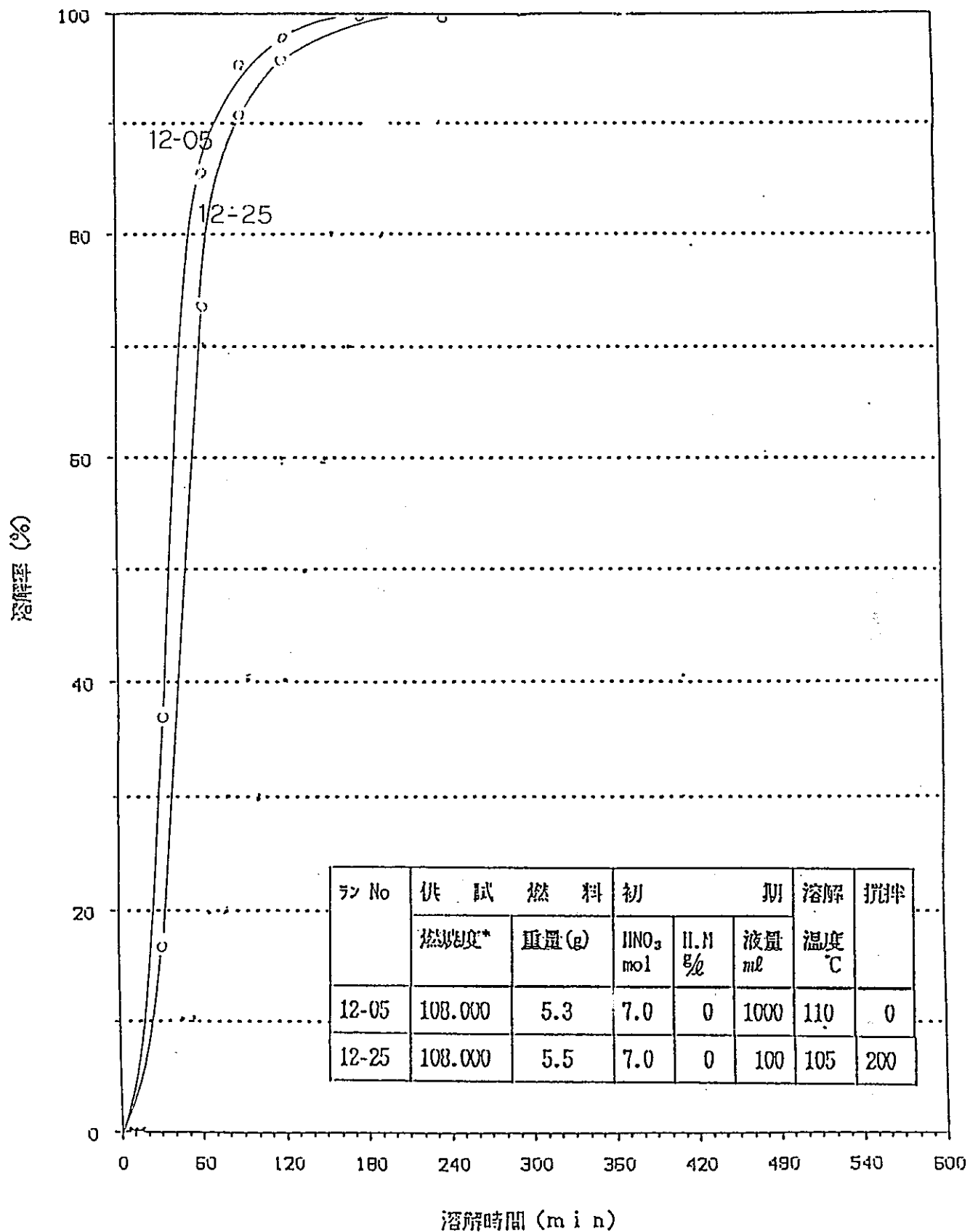


図 4.7 6 溶解特性曲線

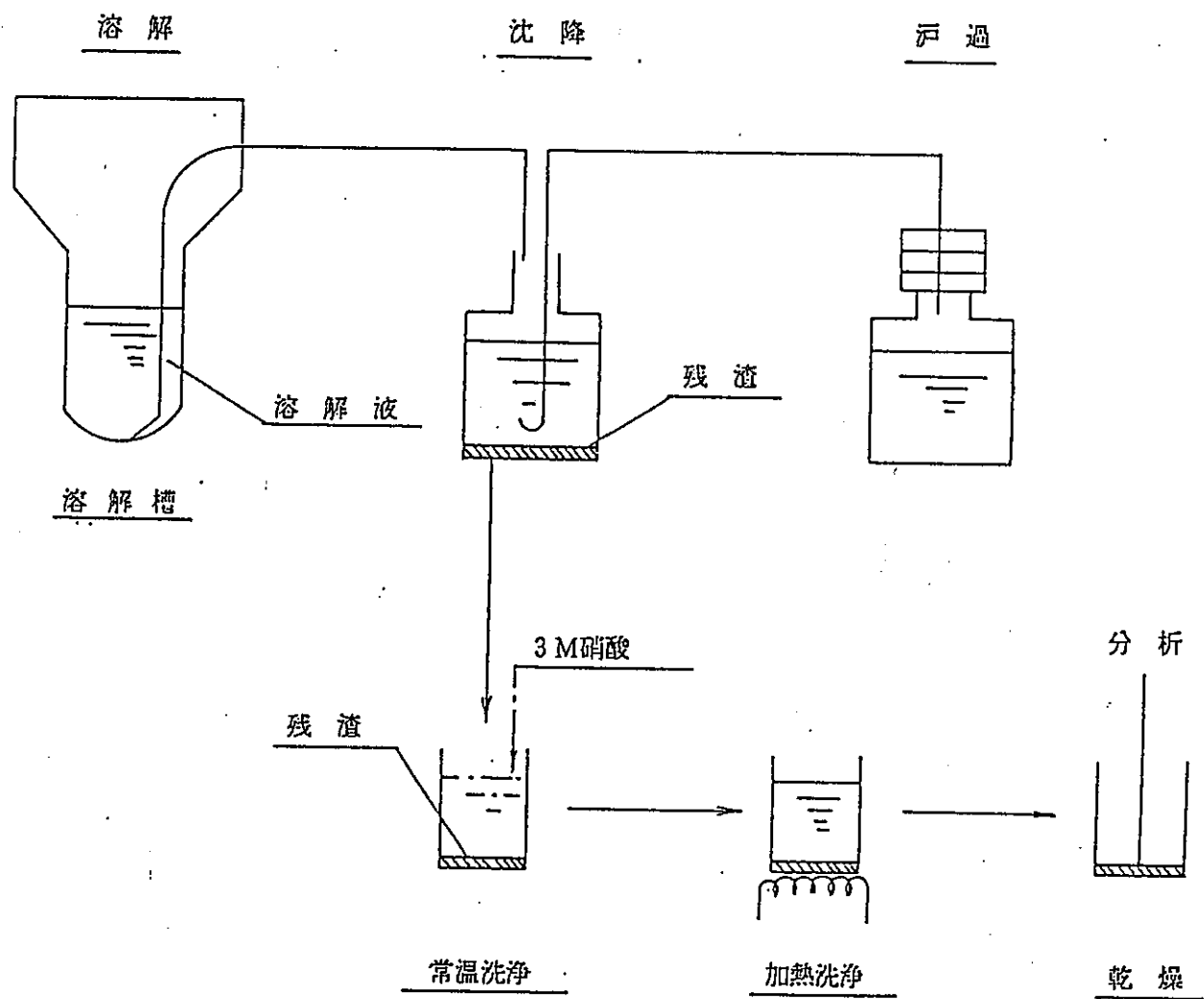
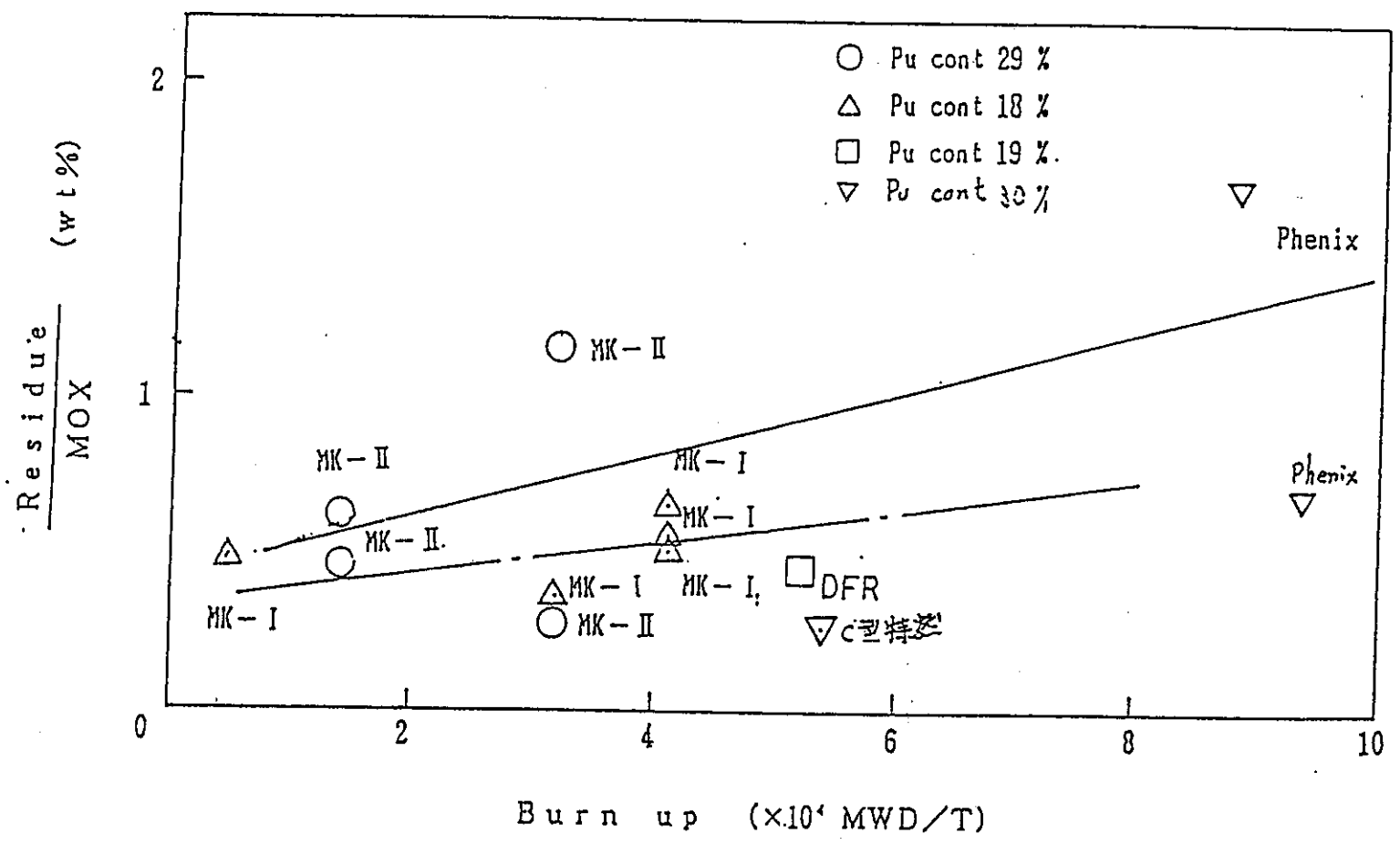


图 5. 1 不溶解性残渣回收フロー

表 5. 1 不溶解性残渣発生率

ランNO		1	2	3	4-1	4-2	4-3	4-4	5-1	5-2
燃料		MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I	MK-I
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	4,400	32,000	40,100	40,100	40,100	40,100	40,100	40,100	40,100
	最大線出力 (W/cm)	250	250	250	250	250	250	250	250	250
残渣重量 (g)		1.2	0.868	2.4	0.713	0.792	0.785	0.831	3.825	0.202
MOX重量 (g)		660.6	661.8	1321.5	328.8	328.5	327.1	329.3	576.1	753.2
残渣/MOX (wt%)		0.18	0.13	0.18	0.22	0.24	0.24	0.25	0.66	0.027

ランNO		6	7	8	9	10	11	12	13	14
燃料		MK-II	MK-II	MK-II	DFR	MK-II	Phenix	Phenix	C型特燃	MK-II
照射条件	平均燃焼度 (MWD/T)	13,800	13,800	31,700	52,600	31,700	87,847	94,000	54,100	54,700
	最大線出力 (W/cm)	360	360	360	410	360	440	440	360	
残渣重量 (g)		1.2622	1.805	3.215	0.382	0.913	5.785	4.225	0.963	
MOX重量 (g)		274.6	297	277.3	199.7	325.7	352.8	623.9	404	250.9
残渣/MOX (wt%)		0.46	0.61	1.2	0.19	0.28	1.6	0.68	0.24	



- 176 -

図 5. 2 燃烧度と不溶解性残渣

表 5. 2 不溶解性残渣成分割合

(w/o)

燃 料 条 件	第5RUN MK-I	第6RUN MK-II	第8RUN MK-II	第10RUN MK-II	第11RUN PHENIX	第12RUN PHENIX	第13RUN C型特殊燃料
燃烧度 (MWD/T)	40100	13800	31700	31700	95520	94000	54100
U	1.8	22.6	5.5	9.8	<0.3	3.9	2.3
Pu	8.1	50.2	73.3	31.7	4.8	3.2	3.3
Mo	18.0	7.3	3.0	22.2	21.3	13.1	24.2
Fe	<0.3	0.5	<0.3	0.9	0.9	1.2	<0.3
Pd	6.7	3.2	3.3	9.0	5.1	10.2	11.6
Cr	0.3	0.4	<0.3	1.7	2.5	3.4	0.5
Zr	<0.3	<0.3	10.9	1.5	5.7	0.4	0.4
Ru	32.2	9.5	2.5	7.4	20.9	24.1	20.2
Rh	6.6	4.0	1.4	7.8	6.3	8.8	8.5
Tc	9.4	2.0	0.4	5.2	3.5	9.9	8.8
合 計	83.1	103.7	96.3	97.2	71.0	78.2	79.8

※ 第8RUNについては、浸漬試験材料が溶け出し、Puが沈殿した影響あり。

※ 第6、8、10RUNのPu及びUは、吸光光度分析法で分析した値。

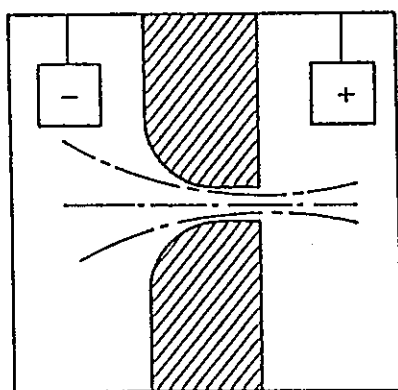
表 5 - 3 不溶解性残渣成分割合 (w/o)

燃 料 成 分	「常陽」MK-II 31,700MWD/T 10ラン	Phenix 94,700MWD/T 11ラン	Phenix 94,700MWD/T 12ラン	「常陽」MK-II C型 54,100MWD/T 13ラン
Pu (g)	97.7	105.8	187.2	121.2
装荷量 (g)	325.7	352.8	623.9	404
Mo	22.2	21.3	13.1	24.2
Pd	9.0	5.1	10.2	11.6
Zr	1.5	5.7	0.3	0.4
Ru	7.4	20.9	24.1	20.2
Rh	7.8	6.3	8.8	8.5
Tc	5.2	3.5	9.9	8.8
U	9.8	< 0.3	3.9	2.3
Pu	31.7 (0.32)	4.8 (0.045)	3.2 (0.017)	3.3 (0.027)
残渣率	0.28	1.6	0.68	0.24

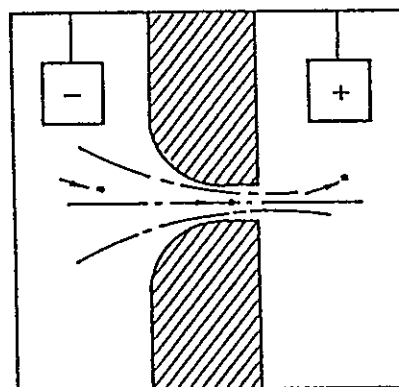
溶 解 条 件	初期硝酸	3.5M	3.0M	4.72M	4.4M
	温 度	97°C	96°C	104°C	104°C
	加熱時間	13hr	27hr	25hr	12hr
残渣加熱洗淨		—————	3.0M , 100°C 2hr × 2回	—————	—————

オリフィスチューブの細孔の両端に電極を置き、電解液を通して両電極に電流を流し電解液中に懸濁させた個々の粒子が真空ポンプで吸引されて通過する際、粒子体積に相当する電解液が置換され、両電極間の電気抵抗に変化が生じる。抵抗変化量は通過する粒子の体積に比例する。この抵抗変化を電圧パルスに変換し、これを増幅、検出して粒子の計数とサイズ測定を行う。なお測定限界の粒径は $0.6\mu\text{m}$ 以下である。

オリフィス断面図



電気抵抗 R



電気抵抗 R' (粒子通過時)

オリフィス部の電気抵抗は粒子の通過とともに瞬間的に増加します。

抵抗変化量は $\Delta R = R' - R$

$$\Delta R = \frac{\text{電解液固有抵抗}}{(\text{オリフィス断面積})^2} \times \text{粒子体積}$$

即ち粒子体積に比例する。

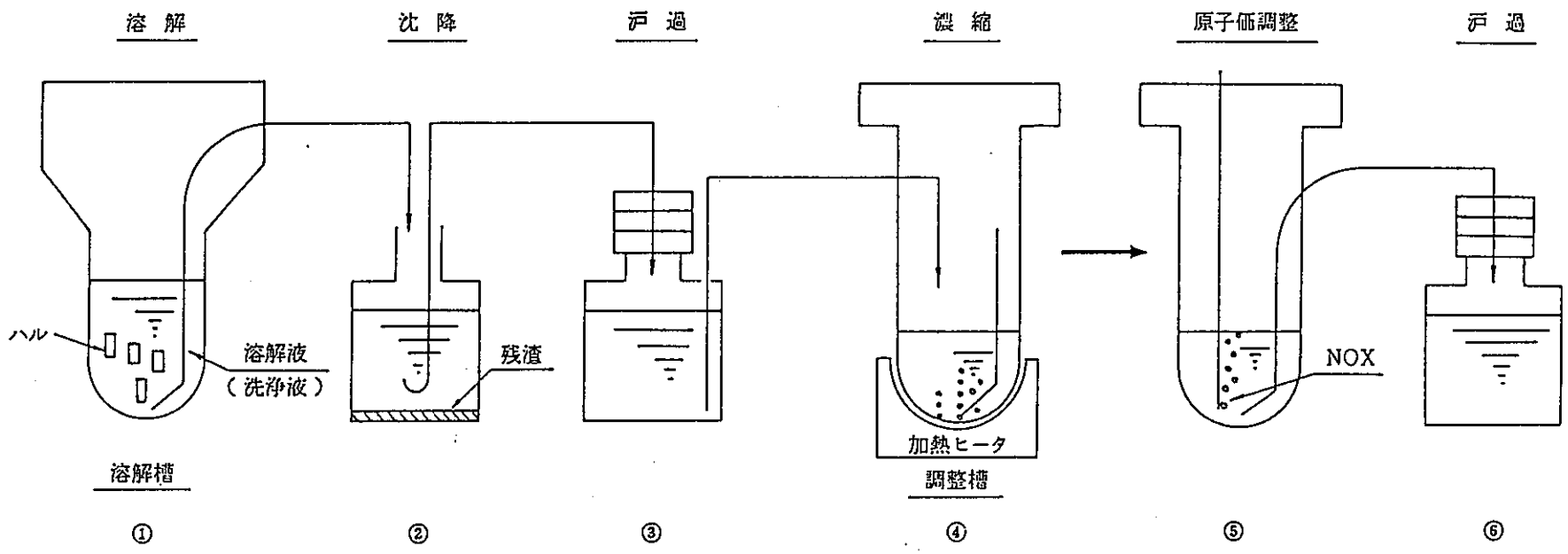
図 5. 4 粒度分布計測定原理

表 5. 4 粒度分布測定条件

		備 考
電 解 液	1N-HNO ₃	1.0, 0.2 μm 濾紙にて濾過
吸 引 圧 力	200 mmAq	
測 定 時 間	30 秒間	
吸 引 量	4.2 uℓ	30 秒当りの吸引量
電 解 液 液 量	15 mℓ	
サンプル採取量	0.1 mℓ	約 150 倍希釈で測定

◎測定装置 米パーチクルデータ社製, 型式 80 XY, 112-3 型

◎オリフィス径 12 μm



- ① 溶解液沈降前(※)
 - ② 溶解液沈降後
 - ③ 溶解液ろ過後(※)
 - ④ 溶解液洗浄液濃縮後
 - ⑤ 濃縮液原子価調整後
 - ⑥ 調整液ろ過後(フィード液)
- (※) 測定対象液

その他は、粒度計不良等により、測定は実施していない。

図 5. 5 サンプル採取ポイント

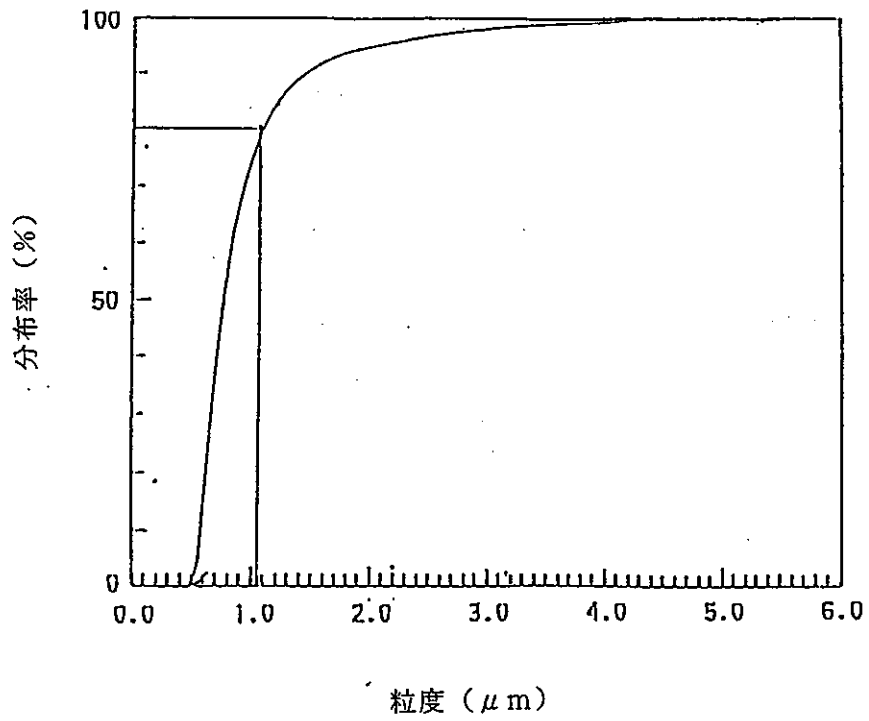


図5. 6 「常陽」MK-II照射済燃料, プルトニウム富化度2.9w/o
燃焼度13,800MWD/T, 溶解液粒度分布率

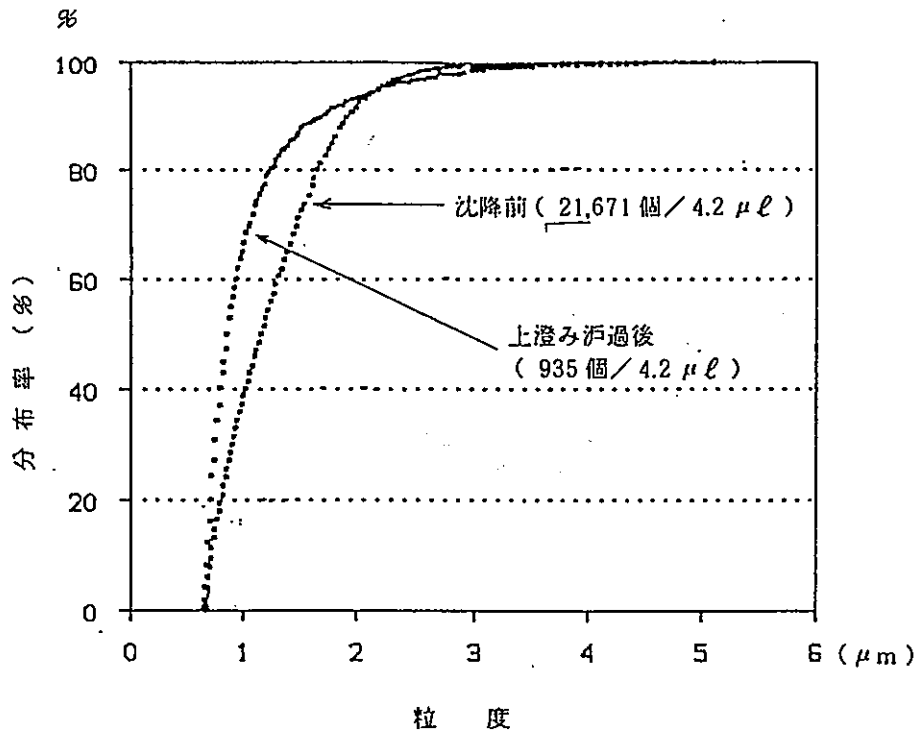


図5.7 フェニックス照射済燃料，プルトニウム富化度30w/o
燃焼度94,000MWD/T, 溶解液粒度分布率

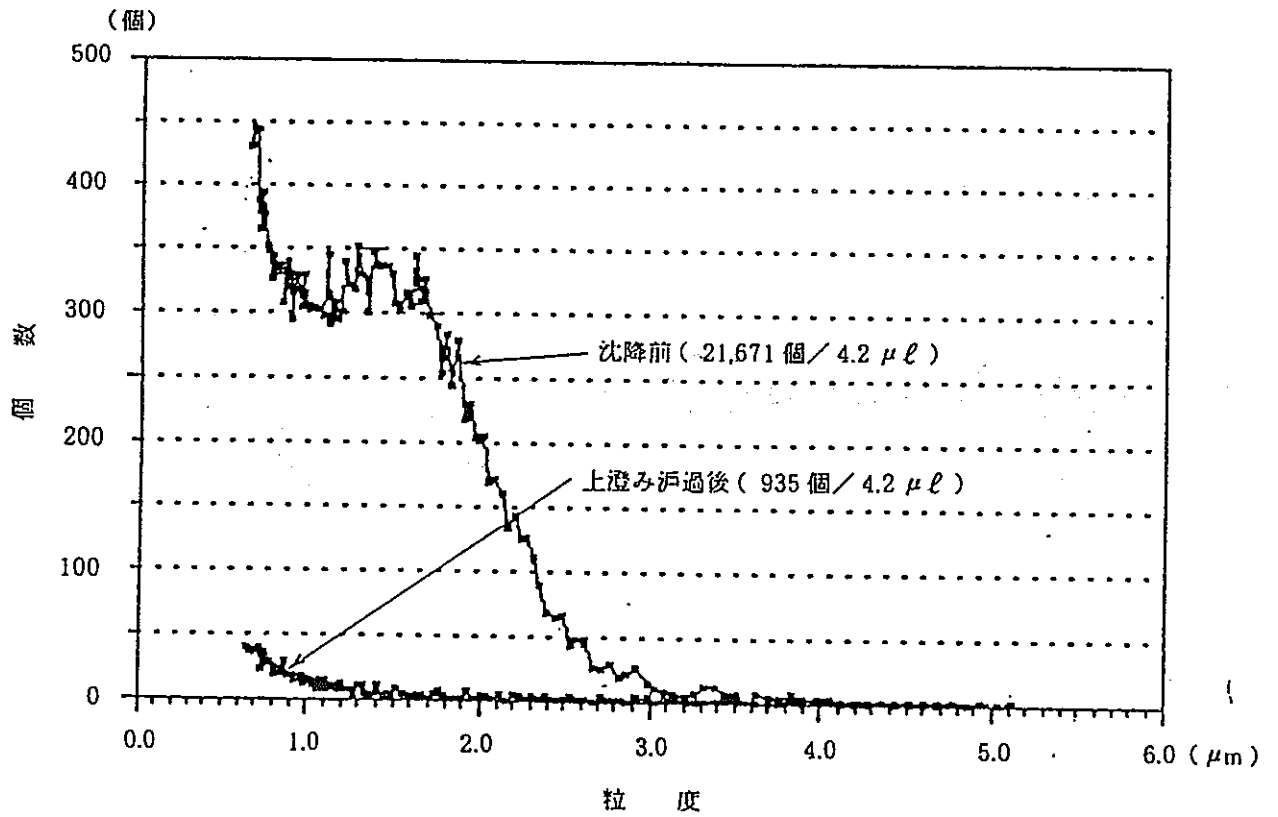
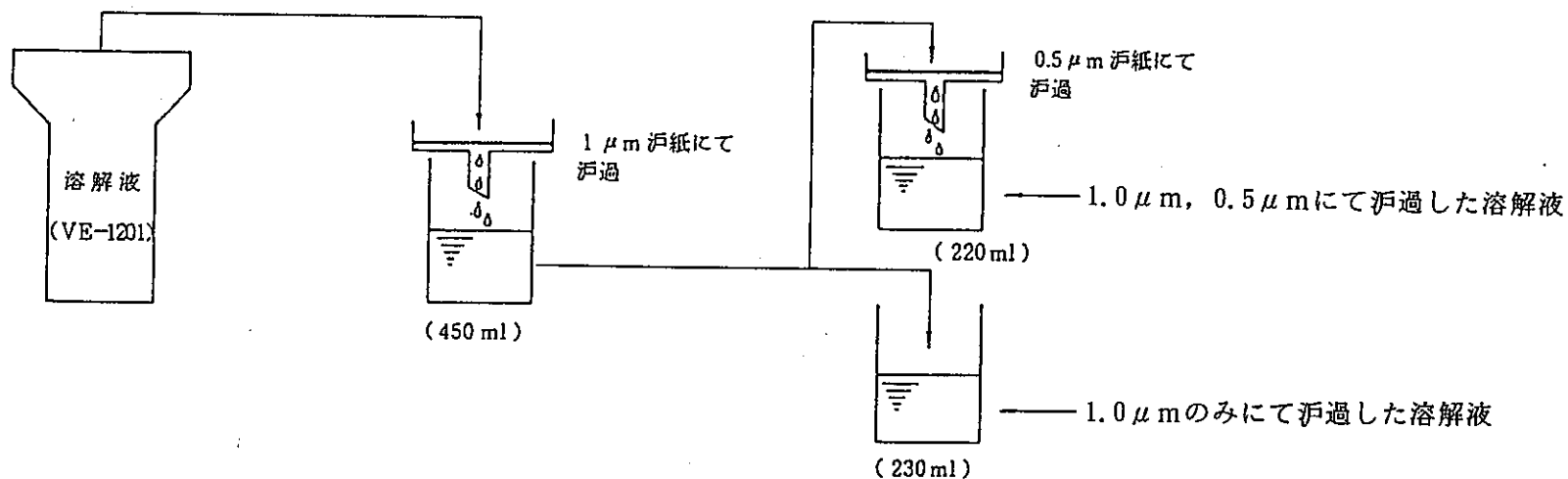


図5. 8 溶解液沈降前と上澄み液ろ過後の粒度分布



試 験 条 件	サ ン プ ル 名 称		
	4 日 間 静 置	8 日 間 静 置	11 日 間 静 置
1.0, 0.5 μm 濾過後上澄液	DPC(22)U-11	DPC(23)U-11	DPC(24)U-11
1.0 μm 濾過後上澄液	DPC(32)U-11	DPC(33)U-11	DPC(34)U-11
1.0, 0.5 μm 濾過後攪拌液	DPC(22)M-11	DPC(23)M-11	DPC(24)M-11
1.0 μm 濾過後攪拌液	DPC(32)M-11	DPC(33)M-11	DPC(34)M-11

※ 各静置サンプル粒度分布測定条件

- ・吸引圧力 200 mmAq
 - ・電解液濃度 1 N-HNO₃
 - ・サンプル採取量 0.1 ml
 - ・使用電解液量 150 ml
 - ・測定時間 30 秒間
 - ・30 秒当りのオリフィス吸引量 4.2 μl
- } 150 倍希釈

図 5. 9 ビーカースケール清澄試験フロー

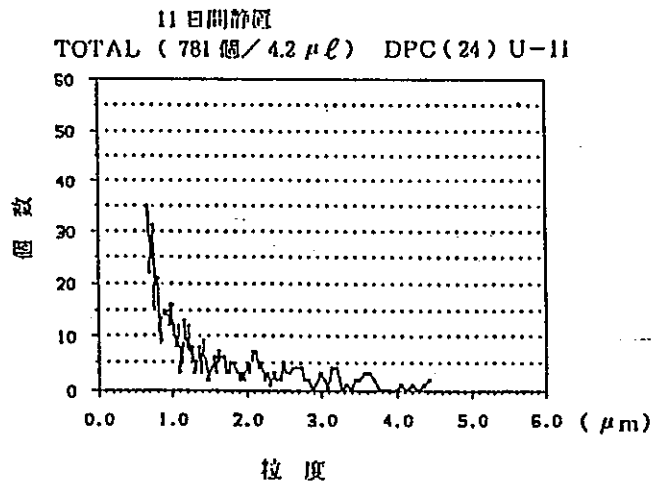
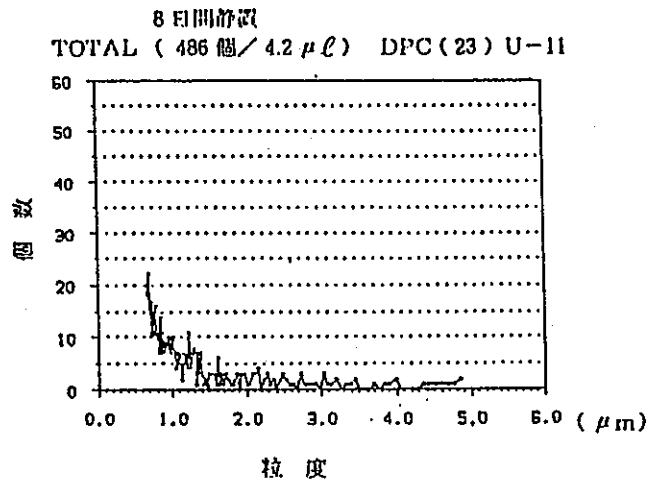
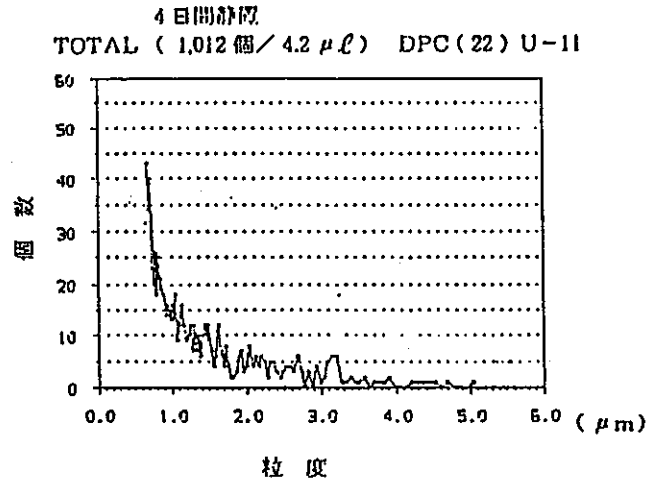


図5. 10 1.0 μm を過後上澄み液粒度分布

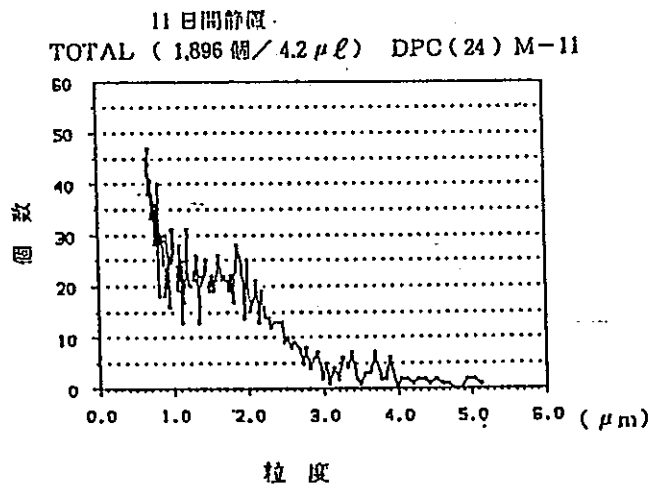
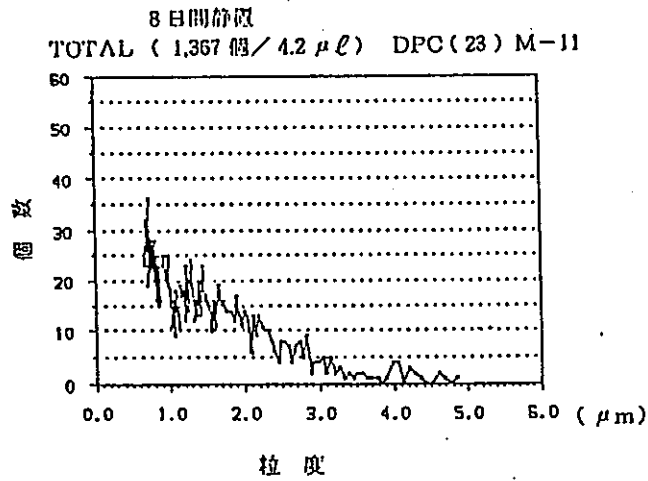
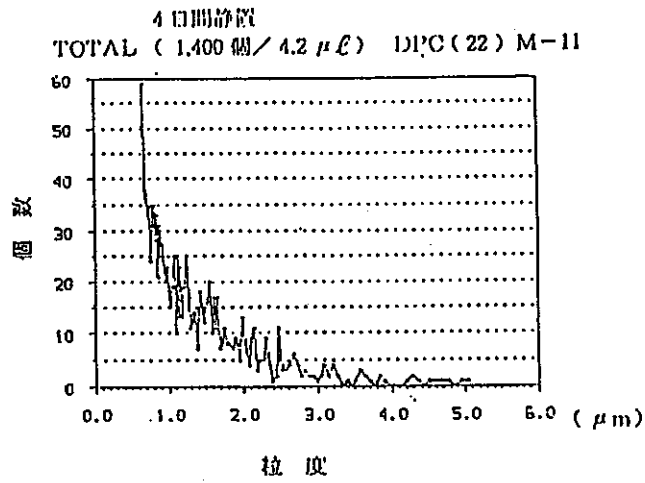


図5. 1 1 1. 0 μm 通過後攪拌液粒度分布

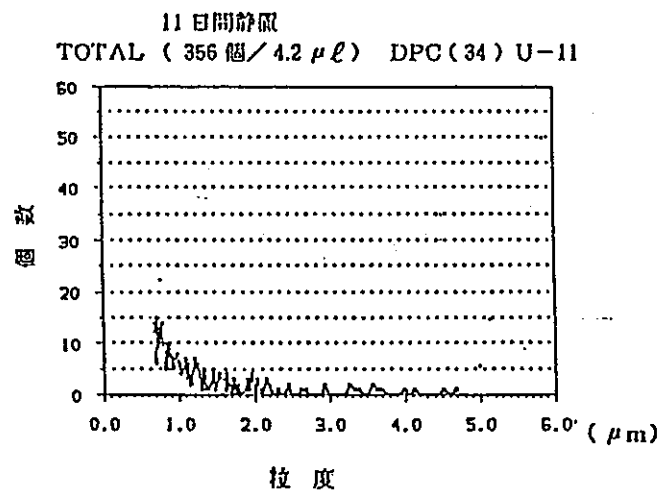
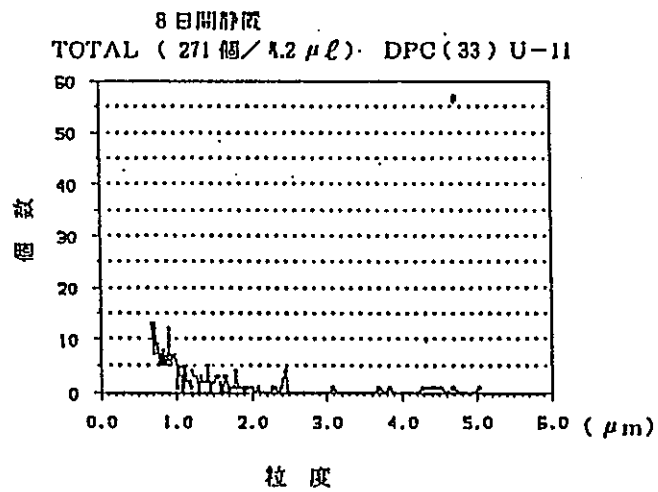
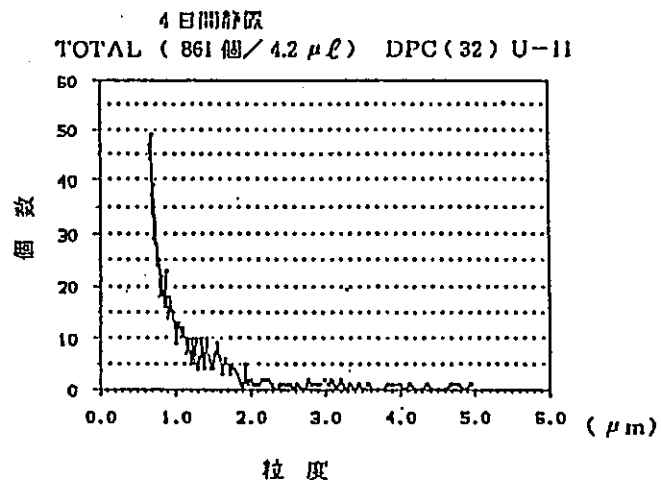


図5. 12 1. 0, 0. 5 μm
る過後上澄み液粒度分布

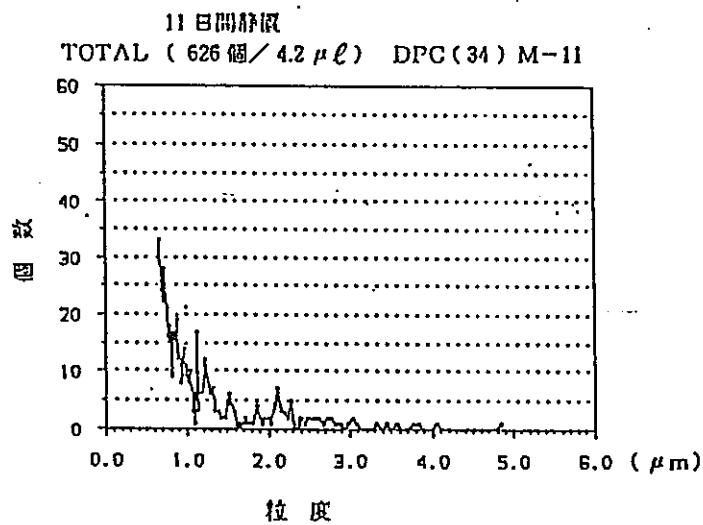
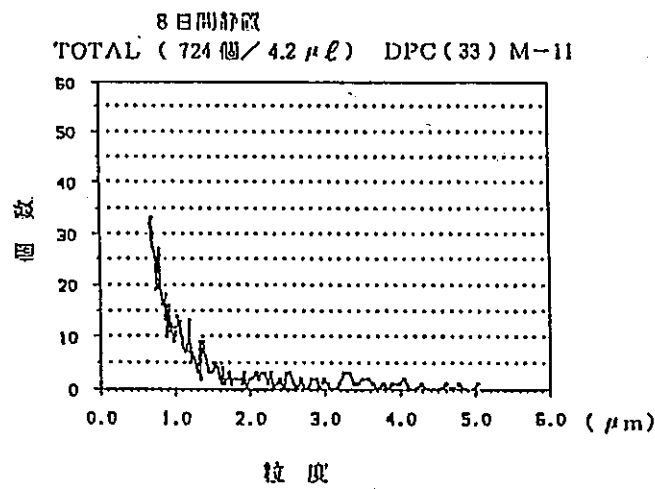
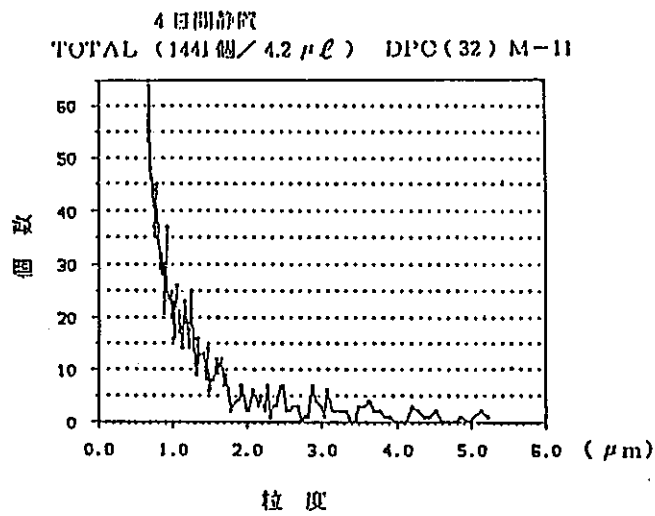


图 5. 13 1. 0, 0. 5 μm 搅拌液粒度分布

表6. 1(1) せん断時と溶解時のKr放出割合

燃 料 項 目	「常陽」MK-I (1ラン)	「常陽」MK-I (2ラン)	「常陽」MK-I (3ラン)	「常陽」MK-I (4ラン)	「常陽」MK-I (5ラン)
燃焼度 (MWD/T)	4, 400	32, 000	40, 100	40, 100	40, 100
せん断時 (%)	4	35	38	37	45
溶解時 (%)	96	65	62	53	55

表 6. 1 (2) せん断時と溶解時のKr放出割合

項目 \ 燃料	「常陽」MK-II (7ラン)	「常陽」MK-II (8ラン)	「常陽」MK-II (10ラン)	フェニックス (12ラン)	C型特殊燃料 (13ラン)
燃焼度 (MWD/T)	13,800	31,700	31,700	94,000	54,100
せん断時 (%)	55	49	57	75	57
溶解時 (%)	45	51	43	25	43

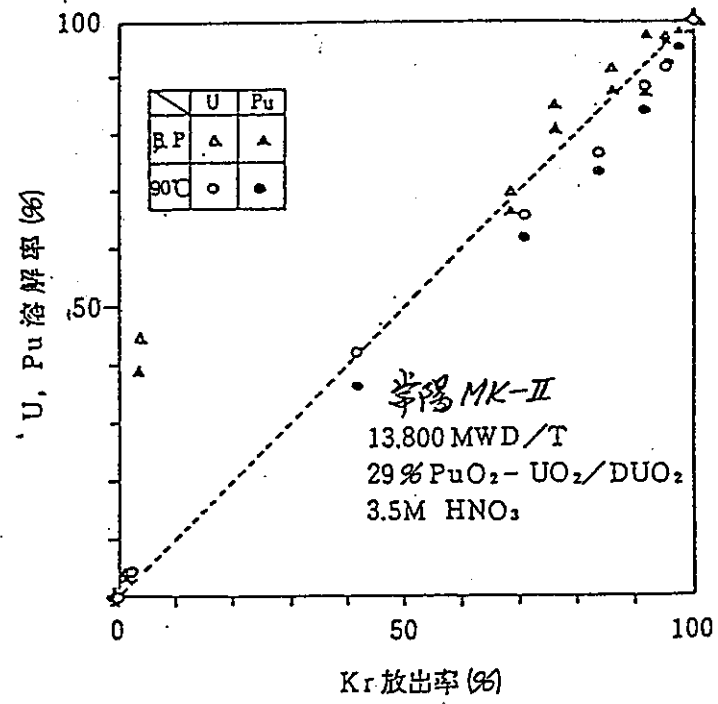
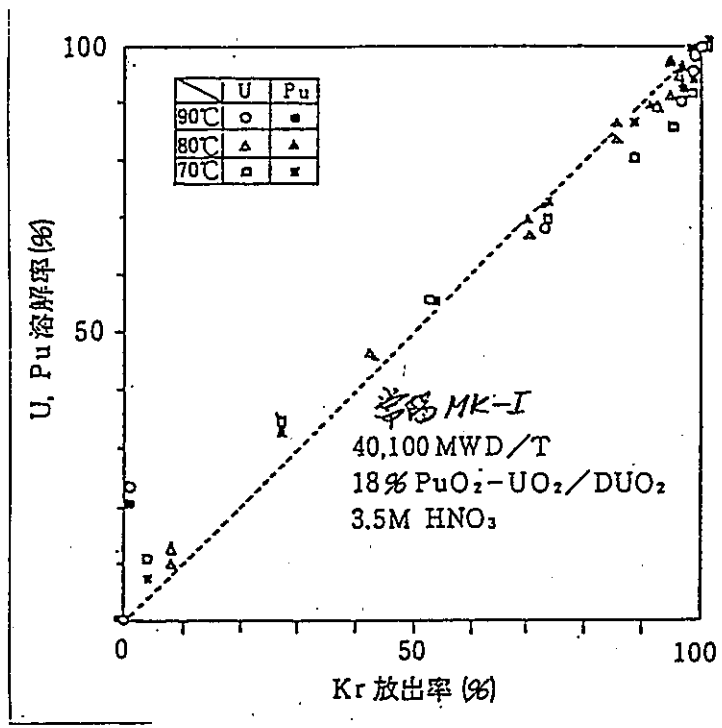


图 6. 1 Kr 放出率と溶解率

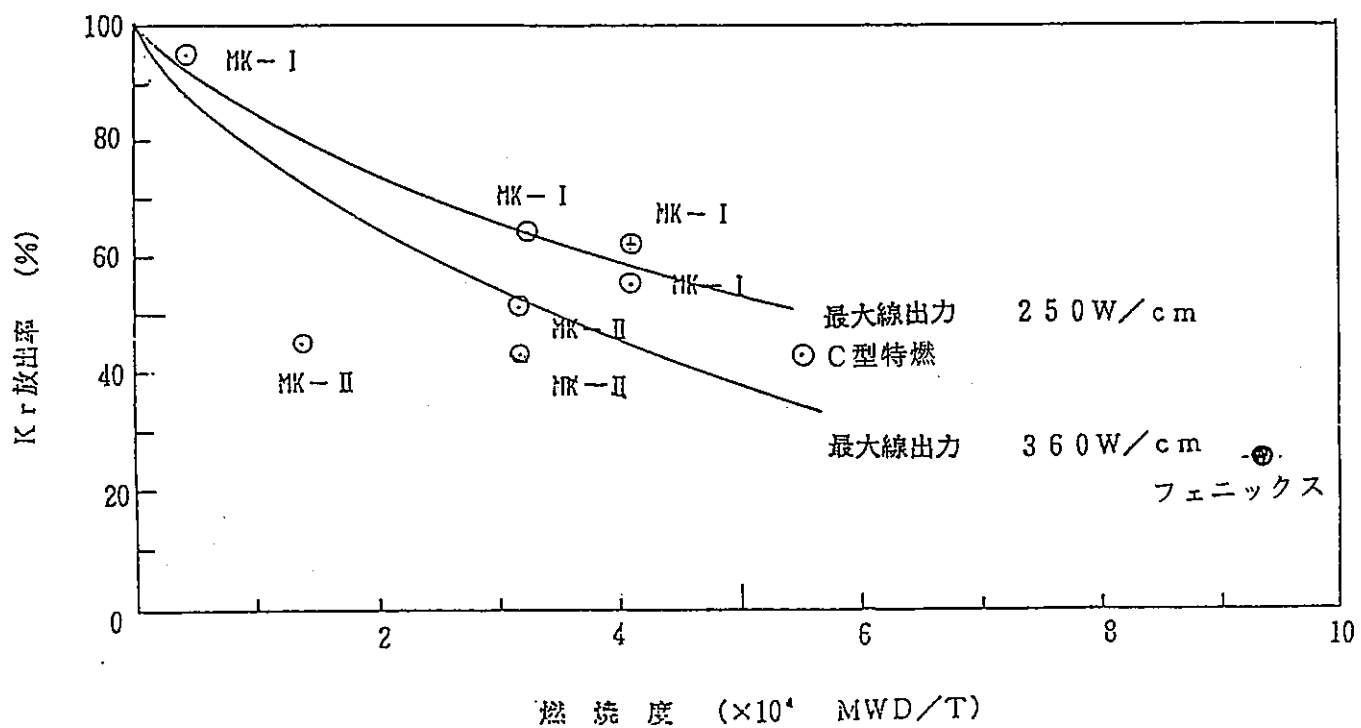


図 6. 2 燃焼度と溶解時のKr放出率

表 7. 1 せん断粉末重量

ランNo	1ラン	3ラン	5ラン	6ラン	7ラン	8ラン	9ラン	10ラン	11ラン	12ラン	13ラン
供試燃料	MK-I	MK-I	MK-I	MK-II	MK-II	MK-II	DFR	MK-II	Phenix	Phenix	MK-II (C)
使用本数 (本)	2	4	4	3	3	3	2本相当*	3	3本相当*	3	3
密度 (%TD)	93	93	93	93	93	93	85/93	93	85/93	85/93	85
燃焼度 (MWD/T)	4,400	40,100	40,100	13,800	13,800	31,700	52,600	31,700	94,000	94,000	54,100
せん断粉末重量 (g)	58.2	47.9	55.0	15.1	16.8	9.2	13.3	14.9	13.3	41.8	14.9

MK-I : 「常陽」MK-I 照射済燃料

MK-II : 「常陽」MK-II 照射済燃料

DFR : ドンレイ炉照射済燃料

Phenix : フェニックス照射済燃料

MK-II (C) : 「常陽」MK-II C型特殊照射済燃料

* : 照射後試験後の燃料 (大洗)

参 考 文 献

- 1) PNC ZN841-84-15 「常陽」MK-II初装荷用炉心燃料集合体の製造
燃料ペレット編
- 2) PNC ZN841-83-09 高速実験炉「常陽」照射用炉心燃料集合体
MK-II初装荷炉心燃料ペレット品質管理報告書(分析編)
- 3) PNC ZN843 85-05 「常陽」MK-II一次取替用炉心燃料集合体の製造
燃料ペレット編
- 4) PNC ZN843 85-33 「常陽」MK-II一次取替用炉心燃料集合体の製造
燃料要素・集合体潜像編
- 5) PNC ZN843 85-04 「常陽」MK-II一次取替用炉心燃料集合体の製造
燃料ペレット編
- 6) PNC ZN843 84-07 Phenix照射用 PNC-3燃料要素の製造
- 7) PNC I843 84-07 「常陽」MK-II照射用C型特殊燃料の製造
- 8) PNC I9410 88008 「常陽」MK-II C型特殊燃料集合体(PFC020)の照射後試験(1)
及び燃料要素の非破壊検査
- 9) PNC SN9410 89-015 高燃焼度燃料の照射挙動評価 Phenix P-3照射試験結果
- 10) PNC I941 84-01 「常陽」MK-I炉心燃料(PPJX13)の照射後試験(2)
燃料要素の組織観察及び機器分析
- 11) PNC I941 85-10 「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD003)の照射後試験
集合体及び燃料要素の非破壊試験
- 12) PNC I941 85-05 「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD003)の照射後試験(2)
燃料要素の組織観察及び機器分析
- 13) PNC I9410 87-004 「常陽」MK-II炉心燃料集合体(PFD001)の照射後試験(2)
燃料要素の組織観察及び機器分析
- 14) PNC ZN941 82-25 DFR332/5 及び6 照射試料の再追加照射後試験(第2報)
- 15) D.R.Olander: Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements
TLD-26711-P1(1976)