

JAERI-M
8285

反応度事故条件下における燃料挙動に
及ぼすラン・アウト出力の影響

(NSRRにおける長ラン・アウト出力実験)

1979年6月

落合 政昭*・稲辺 輝雄・丹沢 富雄**
石島 清見・斉藤 伸三

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している
研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県
那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out
in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be
addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute,
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

反応度事故条件下における燃料挙動に及ぼすラン・アウト出力の影響
(NSRRにおける長ラン・アウト出力実験)

日本原子力研究所東海研究所安全工学部
落合 政昭*・稲辺 輝雄・丹沢 富雄**
石島 清見・斉藤 伸三

(1979年5月24日受理)

動力炉で想定される反応度事故はNSRR標準実験と比べて、燃料の総発熱量に占めるラン・アウト出力の寄与が大きい。そのため、NSRRにおいてラン・アウト出力を通常より長く継続して実験を行い、ラン・アウト出力によって燃料挙動に及ぼす影響を調べた。

NSRR標準燃料を用いて、総発熱量 283 cal/g. UO_2 および 170 cal/g. UO_2 の条件で2回の実験を行った。そのうち、ラン・アウト出力による発熱量はそれぞれ39, および 30 cal/g. UO_2 である。

その結果、本NSRR実験条件の範囲では、ラン・アウト出力の差によって燃料破損挙動および燃料温度挙動などに顕著な差違が見られないことを確認した。

*) 船舶技術研究所 (協力研究員)

***) 日本原子力事業K.K. (外来研究員)

Effects of Run-out Power on the Fuel Behavior under RIA Conditions
(Long Run-out Power Experiments at NSRR)

Masa-aki OCHIAI^{*}, Teruo INABE, Tomio TANZAWA^{**},
Kiyomi ISHIJIMA, Shinzo SAITO

Division of Reactor Safety, Tokai Research Establishment JAERI
(Received May 24, 1979)

The proportion of fuel enthalpy increase due to run-out power could be greater in RIA (Reactivity Initiated Accident) conditions postulated for a power reactor than in NSRR standard experimental conditions. In a series of NSRR experiment, two experiments were carried out to examine effects of the run-out power on behavior of a fuel rod.

The two used NSRR standard test fuel rods with total energy depositions of 283 and 170 cal/g.UO₂, respectively. The corresponding energy depositions due to run-out power were 39 and 30 cal/g UO₂.

It was confirmed that the additional run-out power has no large influence on failure threshold and thermal behavior of the fuel rods.

Keywords : NSRR Reactor Experiments, Run-out Power, Fuel Rod Failure
Reactivity Initiated Accident, Threshold Energy Deposition
Thermal Behavior

* Tokai Branch, Ship Research Institute, Ministry of Transportation,
Tokai-mura, Ibaraki, Japan

** Nippon Atomic Industry Group Co., Kawasaki, Kanagawa, Japan

目 次

1. 序 論.....	1
2. 実験条件.....	2
3. 実験結果.....	3
3.1 総発熱量 283 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No. 201-1)	
の結果.....	3
3.2 総発熱量 170 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No. 201-3)	
の結果.....	4
4. 考 察.....	5
5. 結 論.....	7
謝 辞.....	7
参考文献.....	7

Contents

1. Introduction
 2. Test Conditions
 3. Test Results
 - 3.1 Results of Long Run-out Power Test with Total Energy Deposition of 283 cal/g.UO₂ (Test 201-1)
 - 3.2 Results of Long Run-out Power Test with Total Energy Deposition of 170 cal/g.UO₂ (Test 201-3)
 4. Discussion
 5. Conclusion
- Acknowledgement
- References

1. 序 論

NSRR (Nuclear Safety Research Reactor) は TRIGA-ACPR (Annular Core Pulse Reactor) 型のパルス炉で、Fig. 1 に示すように、有効長 38 cm、有効直径 62 cm 円筒型炉心の中央に直径 22 cm の縦型実験孔を有す。また、通常の調整棒、安全棒に加えて 3 本のトランジェント棒がある。このトランジェント棒を急速に引く抜くことによって最大 4.7 ドルの反応度を附加することができ、その時の炉出力の過渡状態を利用してパルス型照射実験ができる⁽¹⁾。

NSRR 実験は動力炉の反応度事故時の安全評価に資するために、事故条件での燃料挙動の究明を目的とした実験である⁽²⁾。

NSRR の出力過渡の様相は Fig. 2 に示すように、鋭いパルス状の出力とそれにつづくラン・アウト出力と呼ばれる非常にゆるやかに減衰する低出力とに特徴づけられる。ラン・アウト出力はトランジェント棒の再挿入によって停止するが、通常の NSRR 実験（以下、標準実験と記す）では、現象の単純化のためできるだけラン・アウト出力の影響を除去することを目的として、パルス出力発生後できるだけ早くトランジェント棒を再挿入している。その結果、標準実験ではラン・アウト出力の継続時間は約 0.8 秒である。NSRR 標準試験燃料を用いた場合には過渡出力による試験燃料の単位質量当たりの総発熱量（以下、総発熱量と略記する）に占めるラン・アウト出力に起因する発熱量（単位質量当たり、以下略す）は、高々 15% である。

一方、動力炉特に BWR において想定されている反応度事故時の出力過渡の様相は、NSRR 実験と比べるとパルス出力のピーク値が低く、半値幅が長い点が特徴であって、ラン・アウト出力に関しては、より長時間比較的高出力が継続する点が特徴である⁽³⁾。

パルス出力による即発的発熱量はそのほとんどが燃料のエンタルピの上昇に寄与するのであろう。しかしながら、時間が経過するに従って燃料棒から冷却水への伝熱量も無視し難い量となるであろうから、長時間にわたるラン・アウトによる試験燃料棒の発熱量を以って直ちに燃料エンタルピの増分とみなすことは過大な評価となるであろう。

これまでの NSRR 実験の成果の 1 つとして、燃料破損現象は被覆管の溶融と密接な関連があることを明らかにした⁽⁴⁾。したがって燃料ペレットや被覆管のエンタルピを評価し、それぞれが溶融するのに必要なエンタルピと比較することによって燃料破損の有無を予測しようものと思われる。すなわち、NSRR 実験の結果を動力炉の安全評価に反映するためには、ラン・アウト出力中の燃料エンタルピ増分を推定し、その燃料挙動に及ぼす影響を把握することが必要である。このために、ラン・アウト出力の継続時間を約 10 秒間と NSRR で可能な範囲で最長にして燃料照射実験を行った（以下、長ラン・アウト実験と記す）。本報告はこの長ラン・アウト実験についての報告であって、これまでの標準実験によって得られた知見と比較することによってラン・アウト出力の燃料挙動に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験条件

トランジェント棒の再挿入時刻を遅延させることによって、ラン・アウト出力の継続時間を延長する方法で、2回 (Test No 201-1, 201-3) の長ラン・アウト出力実験を行った。供試燃料棒はNSRR標準試験燃料棒であり、その構造をFig. 3に、主要目をTable 1に示す。これらの図表に示すように、13.5 cmのペレットスタック長を除けば、試験燃料棒はPWR型動力炉の燃料棒と同一の寸法・形状を有す。また、試験容器はFig. 4に示すNSRR実験用大気圧水カプセルであって、試験燃料棒をこのカプセルの中で常温、常圧の静止水雰囲気中でパルス照射する。

Test No 201-1の実験では総発熱量が283 cal/g. UO_2 であり、Test No 201-3の実験では170 cal/g. UO_2 である。両実験での投入反応度量はそれぞれ総発熱量244 cal/g. UO_2 の標準実験 (Test No 111-4) および140 cal/g. UO_2 の標準実験 (Test No 201-2) と同一であって、総発熱量の差はラン・アウト出力の長短に起因する。すなわち、Test No 201-1の実験を例にとると、パルス出力および約0.8秒間のラン・アウト出力に関しては、標準実験と同一の実験条件であるから、その出力によって244 cal/g. UO_2 の発熱が生じて、その後の約9秒間継続するラン・アウト出力によって39 cal/g. UO_2 の熱量が附加され、総計283 cal/g. UO_2 となったものと考えられる。なお、標準実験の場合の244 cal/g. UO_2 の発熱量は約0.8秒間のラン・アウト出力に起因する発熱量を併せ含むので、必ずしも即発的であるとは言い難いものの、それ以後のラン・アウト出力による発熱量 (この場合は39 cal/g. UO_2) と区別するために、便宜上以下の文中では即発発熱量として記す。

これまでのNSRR実験の結果から標準試験燃料の破損しきい値は即発発熱量で約260 cal/g. UO_2 であることが明らかとなった⁽⁴⁾。Test No 201-1の実験では即発発熱量は244 cal/g. UO_2 であって燃料破損をとまなわない量であるが、延長したラン・アウト出力による発熱量まで含めると283 cal/g. UO_2 となって破損しきい値より大きくなる。このようにTest No 201-1の実験条件はラン・アウト出力の破損挙動に対する影響を究明することを主たる目的として選定した。

一方、Fig. 5にNSRR実験での燃料被覆管表面温度の最高値と発熱量との関係を示すように、最高温度は発熱量の増大とともに増加するが、特に140～180 cal/g. UO_2 の範囲ではその勾配が急であって、わずかな発熱量の増加によって最高温度は大きく増加する。すなわち、Test No 201-3の実験条件はラン・アウト出力が燃料の熱的挙動に及ぼす影響をしらべるために選定したものである。

実験方法には標準的なNSRR実験と同様な方法⁽²⁾であって、トランジェント棒の再挿入時刻を9秒程度遅延した点だけが異なる。測定項目は被覆管表面温度のみであり、Pt-Pt-Rh 13%熱電対素線 (0.2 mm O. D.) を被覆管表面に点溶接して測定した。

3. 実験結果

3.1 総発熱量 283 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No. 201-1) の結果

(1) 破損挙動

即発発熱量 244 cal/g. UO_2 , 総発熱量 283 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No. 201-1) の結果, 試験燃料は破損していなかった。即発的に 260 cal/g. UO_2 以上の発熱量を与えた標準実験では必ず試験燃料が破損することと比べると, 本実験でのラン・アウト出力時の発熱量が燃料破損にほとんど寄与しなかったことがわかる。

(2) 外観観察結果

本実験 (Test No. 201-1) および同一即発発熱量の標準実験 (Test No. 114-4) の外観写真を比較して Phot. 1 に示す。同写真により明らかなように, 2本の試験燃料はその発熱部全域にわたって黒く酸化しかつ部分的に酸化膜がはく離している点において互に良く似た様相を呈している。

なお, 酸化膜はく離の発生箇所に関しては, 同程度の即発発熱量 ($241 \sim 245 \text{ cal/g. UO}_2$) の4例の標準実験 (Test No. 114-4, 113-1, 115-3, 200-1-2) の場合と比べると, 本実験の場合の方がわずかながらもより広範囲にわたっていた。

(3) 被覆管の変形量

試験燃料の発熱とともに燃料ペレットは熱膨脹するが, NSRR実験のようにその発熱が急激で, かつ半径方向の発熱分布が一様でない場合には, ペレットには熱応力によって割れ, 欠け等が生じる。その結果, ペレットは熱膨脹によって被覆管を等方的に変形させたり, 割れ, 欠け等によって被覆管を不均一に押し上げたりするので照射後燃料の被覆管に永久歪がみとめられることがある。そこで, これまでの標準実験の燃料に対してプロフィールメータで直角二方向の燃料直径を測定したところ, Fig. 6 に示すような結果が得られた。同図で明らかなように, 一般的に発熱量が大きい時程変形量が大きくなり, 260 cal/g. UO_2 程度の発熱量の場合には特に大きな変形が認められるが, 被覆管の溶融に起因するものと考えられる⁽⁴⁾。

そこで, ラン・アウト出力による発熱量が被覆管の変形挙動に及ぼす影響を明らかにするために, 本実験の照射後燃料被覆管の変形量をプロフィールメータで測定した。その結果を同図に△印で示した。同図でわかるように長ラン・アウト出力実験の試験燃料の被覆管は同一即発発熱量の標準実験の場合と比べて同程度の変形量を示した。したがって, 本実験の結果からはラン・アウト出力時の追加的な発熱量は被覆管の変形に寄与するものではないと考えられる。

(4) 燃料温度挙動

前述したように燃料の熱的挙動は燃料破損を支配する重要な因子である。Fig. 7 に長ラン・アウト出力実験である本実験 (Test No. 201-1) の燃料被覆管表面温度挙動について, 同程度の即発発熱量の標準実験 (Test No. 115-3, 200-1-2) の場合と比較して示す。なお,

その温度測定位置はいずれも燃料部の軸方向中心高さである。本実験の温度挙動は総発熱量 241 cal/g. UO_2 の標準実験 (Test No 200-1-2) の場合とほぼ一致した。一方総発熱量 240 cal/g. UO_2 の標準実験 (Test No 115-3) の場合は、上記2実験と比べて最高温度は約 200°C 低く、急冷開始時刻も早い。すなわち、ほぼ同一の条件で行った2回の標準実験 (Test No 200-1-2 および 115-3) の間でもこの程度の温度挙動の差が見られるのであるから、本実験条件ではラン・アウト出力による発熱量は被覆管表面温度挙動に対してほとんど影響を与えなかったものと考ええる。

3.2 総発熱量 170 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No. 201-3) の結果

(1) 外観観察結果

即発熱量 140 cal/g. UO_2 , 総発熱量 170 cal/g. UO_2 の長ラン・アウト出力実験 (Test No 201-3) の照射後の試験燃料の外観写真を、同一即発熱量の標準実験 (Test No 201-2) の場合と比較して Phot. 2 に示す。同写真からわかるように試験燃料の外観の様相は両実験の間で多少の差が見られる。標準実験 (Test No 201-2) の場合被覆管表面の極く一部に薄茶色の斑点および灰青色の円模様が見られるが、全体的には新燃料棒の被覆管と同様に金属的な光沢を示していた。一方、長ラン・アウト出力実験 (Test No 201-3) の場合には、被覆管の発熱部の表面は全面にわたってまだら状に薄く変色 (青, 薄茶) していた。すなわち、どちらの場合も極くわずかな表面酸化が発生したことを示しているものの、その程度は長ラン・アウト出力実験の場合の方がやゝ強かったものと言える。

なお、両実験において被覆管には永久変化がみとめられなかった。

(2) 燃料温度挙動

Fig. 8 に示す上記両実験 (Test No 201-2, 201-3) の被覆管表面温度挙動に見られるように、長ラン・アウト出力実験 (Test No 201-3) の被覆管表面温度の方が、同一即発熱量の標準実験 (Test No 201-2) の場合より明らかに高く、そのためラン・アウト出力による発熱量の影響が顕著であるかのように見える。しかしながら、標準実験でのトランジェント棒再挿入時刻は同図で 1 sec として示される時刻にほぼ一致するのに、同図で見られる両実験の温度挙動の差はすべてその時刻以前に生じているのであるから、その温度挙動の差は炉の冷却水温の変動や試験燃料棒の製作精度およびペレットの偏心などの NSRR 実験に含まれる実験誤差に起因するものであって、ラン・アウト出力の長短によるものではない。

なお、被覆管の酸化は被覆管が高温である時に生じるものであるから、前項で述べた両実験間の酸化の程度の差もまた、ラン・アウト出力の長短に起因するものではないと言えよう。

4. 考 察

以上述べたように、NSRR実験においてラン・アウト出力の継続時間を延長した実験を行った結果、燃料挙動に対するその効果として以下の事項が明らかになった。

1. ラン・アウト出力による発熱量は今回の実験条件程度の大きさ(約9秒間で40 cal/g. UO₂程度)ならば、燃料の破損現象にはほとんど寄与しない。
2. その発熱量が被覆管の酸化挙動に対して与えた影響はごくわずかであって、NSRR実験の再現性の範囲と比べて顕著であるとは言い難い。
3. その発熱量は燃料棒の変動挙動に対して有意な影響を及ぼすものではない。

前述した様に、燃料の破損はその熱的挙動と密接な関係があり、被覆管の酸化・変形もまた同様である。すなわち、ラン・アウト出力の長短によって、破損・酸化・変形等の現象に顕著な差が生じなかったということは、換言すればラン・アウト出力の長短によって熱的挙動に有意な差が生じなかったことになる。実際に、燃料の熱的挙動の代表例として被覆管表面温度の測定値にも、ラン・アウト出力による発熱量が与えた影響は見られなかった。

Test No 201-1の場合、Fig. 7に見られるようにラン・アウト出力が継続している時には、被覆管表面温度は950°C以上であって、表面での伝熱様式は膜沸騰熱伝達である。NSRR実験のように強サブクール条件での膜沸騰熱伝達に対して、大西等⁽⁵⁾は伝熱面温度が1,000°C以上の場合はその熱流束が 1.0×10^6 kcal/m²hr以上であることを報告している。今、ラン・アウト出力継続中の試験燃料棒の熱収支を検討すると、試験燃料棒からの除熱速度 Q (cal/sec)は、表面熱流束 q を 1.0×10^6 kcal/m²hrとすると、

$$Q_1 = Aq / 3,600 \times 10^3 = 1.3 \times 10^3 \text{ cal/sec}$$

である。ここで $A = 4.6 \times 10^{-3}$ m²は発熱部の表面積である。一方、ラン・アウト出力による発熱量は40 cal/g. UO₂であり、1本の試験燃料棒には90gのUO₂が含まれているから、ラン・アウト出力が継続した9秒間での平均的な発熱速度 \bar{Q}_2 (cal/sec)は、

$$Q_2 = 40 \times 90 / 9 = 4.0 \times 10^2 \text{ cal/sec}$$

である。したがって、ラン・アウト出力による平均的な発熱速度はその時の除熱速度の $1/3$ 以下であり、またその発熱量によって燃料温度が上昇すれば表面熱流束もまた増大するのであるから、NSRR実験においてラン・アウト出力を長くしても、それによる温度上昇は無視しうる程度であるものと言える。

しかしながら、ラン・アウト出力の出力レベルは時間とともに減少するので、その初期には比較的高い出力レベルを示し、それに伴う発熱量もまた必ずしも除熱量より小さいものとは限らない。たとえば、Fig. 9に示す積分炉出力で明きらかなようにTest No 201-1の長ラン・アウト出力実験では標準実験における原子炉停止時刻(図中のB点)からの1秒間にラン・アウト出力は3.5 MW・secであった。このラン・アウト出力によって、試験燃料棒には、

$$3.5 \text{ MW} \cdot \text{sec} \times 4.36 \text{ cal/g} \cdot \text{UO}_2 \cdot \text{MW} \cdot \text{sec} = 15.3 \text{ cal/g} \cdot \text{UO}_2$$

の熱量が負荷された。この熱量はその間の除熱量と同程度であるから、燃料のエンタルピはこの附加的熱量の有無によって多少の影響を受けるであろう。仮りに、附加的熱量の有無によって除熱量が変わらないものとする、この附加的熱量によってUO₂燃料の温度はほぼ150°C上昇することになる。しかしながらNSRR実験では同一試験燃料棒の同一高さで測定された被覆管表面温度でさえ、周方向の位置が異なると100～200°C程度の差がある例は多々見られる⁽⁶⁾のであるから、ラン・アウト出力による温度上昇はNSRR実験の再現性の範囲と比べて顕著であるとは言い難い。さらに、表面温度に及ぼすラン・アウト出力の長短の影響を燃料挙動解析コードEXCURS-FLUXによって解析した結果、ラン・アウト出力を長くしても最高到達温度は上昇せず、表面温度の徐冷過程がやゝ遅くなるもののその程度は実験誤差と比較して顕著ではないことが示されている⁽⁶⁾。

以上述べたように、本実験ではラン・アウト出力の長短による被覆管の熱的挙動の差違が顕著ではなかったため、被覆管の熱的挙動、とりわけ最高到達温度に強く支配される燃料の破損、酸化、変形等の挙動に及ぼす影響が小さかったのであろう。

Test No 201-3の場合は、Fig. 8に見られるようにラン・アウト出力が継続している間、被覆管表面温度はほぼ100°Cに保たれており、その伝熱様式は核沸騰熱伝達であって、NSRR実験体系のような強サブクール条件下では限界熱流束は10⁷kcal/m²hr程度にまで達する⁽⁵⁾ので、ラン・アウト出力による発熱量が附加されても、被覆管表面での熱流束は限界熱流束を越えることはなく、そのために表面温度が低温に保たれたものである。

5. 結 論

NSRRにおいてラン・アウト出力による発熱量が燃料挙動に及ぼす影響を確認する目的で、標準実験よりラン・アウト出力の継続時間を約9秒間延長し、その間に30~40 cal/g. UO₂の発熱量を附加した条件で実験を行った。その結果を標準実験の場合と比較して以下の事項を確認した。

1. ラン・アウト出力に伴なう附加的な発熱量は、本実験条件の範囲では燃料破損・被覆管の酸化・変形等の燃料挙動な影響を及ぼさない。
2. 本実験条件では、ラン・アウト出力による燃料被覆管の温度挙動へ及ぼす影響は、NSRR標準実験の再現性の範囲として顕著ではない。

したがって、今後動力炉で想定される反応度事故のラン・アウト出力の効果を究明するためには、解析的手法が重要であるが、それとともに試験燃料の濃縮度を高めてラン・アウト出力による発熱量を大きくしたり、冷却水のサブクール度を下げることによって除熱量を小さくした条件でのNSRR実験が望まれる。また、NSRRの高速トランジェント棒の引き抜きパターンを変更すれば、より高いラン・アウト出力を実現できる可能性もある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり助言を頂いた石川迪夫室長をはじめとする反応度安全研究室の皆様、また本実験の遂行に御協力下さったNSRR管理室の皆様に感謝します。

参 考 文 献

- (1) NSRR臨界および特性試験報告, JAERI-M 6791 1976年12月
- (2) NSRR実験プログレスレポート・1, JAERI-M 6635 1936年7月
- (3) 都甲泰正, 石川迪夫他「軽水型原子力発電所想定事故時安全対策資料集, アイ・エス・ユー株式会社(東京) 1977年3月
- (4) 星蔦雄, 稲辺輝雄他「反応度事故条件下における末照射燃料の破損挙動」日本原子力学会誌, Vol.20, No.9, 651 (1978)
- (5) 大西信秋, 丹沢貞光「NSRR実験(27), サブクールプール膜沸騰熱伝達」日本原子力学会昭和53年秋分科会予稿集, A33 (1978)
- (6) NSRR実験プログレスレポート・2, JAERI-M 6790 1976年11月

5. 結 論

NSRRにおいてラン・アウト出力による発熱量が燃料挙動に及ぼす影響を確認する目的で、標準実験よりラン・アウト出力の継続時間を約9秒間延長し、その間に30~40 cal/g. UO_2 の発熱量を附加した条件で実験を行った。その結果を標準実験の場合と比較して以下の事項を確認した。

1. ラン・アウト出力に伴う附加的な発熱量は、本実験条件の範囲では燃料破損・被覆管の酸化・変形等の燃料挙動な影響を及ぼさない。
2. 本実験条件では、ラン・アウト出力による燃料被覆管の温度挙動へ及ぼす影響は、NSRR標準実験の再現性の範囲として顕著ではない。

したがって、今後動力炉で想定される反応度事故のラン・アウト出力の効果を究明するためには、解析的手法が重要であるが、それとともに試験燃料の濃縮度を高めてラン・アウト出力による発熱量を大きくしたり、冷却水のサブクール度を下げることによって除熱量を小さくした条件でのNSRR実験が望まれる。また、NSRRの高速トランジェント棒の引き抜きパターンを変更すれば、より高いラン・アウト出力を実現できる可能性もある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり助言を頂いた石川迪夫室長をはじめとする反応度安全研究室の皆様、また本実験の遂行に御協力下さったNSRR管理室の皆様に感謝します。

参 考 文 献

- (1) NSRR臨界および特性試験報告, JAERI-M 6791 1976年12月
- (2) NSRR実験プログレスレポート・1, JAERI-M 6635 1976年7月
- (3) 都甲泰正, 石川迪夫他「軽水型原子力発電所想定事故時安全対策資料集, アイ・エス・ユー株式会社(東京) 1977年3月
- (4) 星蔦雄, 稲辺輝雄他「反応度事故条件下における未照射燃料の破損挙動」日本原子力学会誌, Vol.20, No.9, 651 (1978)
- (5) 大西信秋, 丹沢貞光「NSRR実験(27), サブクールプール膜沸騰熱伝達」日本原子力学会昭和53年秋分科会予稿集, A33 (1978)
- (6) NSRR実験プログレスレポート・2, JAERI-M 6790 1976年11月

5. 結 論

NSRRにおいてラン・アウト出力による発熱量が燃料挙動に及ぼす影響を確認する目的で、標準実験よりラン・アウト出力の継続時間を約9秒間延長し、その間に30~40 cal/g. UO₂の発熱量を附加した条件で実験を行った。その結果を標準実験の場合と比較して以下の事項を確認した。

1. ラン・アウト出力に伴なう附加的な発熱量は、本実験条件の範囲では燃料破損・被覆管の酸化・変形等の燃料挙動な影響を及ぼさない。
2. 本実験条件では、ラン・アウト出力による燃料被覆管の温度挙動へ及ぼす影響は、NSRR標準実験の再現性の範囲として顕著ではない。

したがって、今後動力炉で想定される反応度事故のラン・アウト出力の効果を究明するためには、解析的手法が重要であるが、それとともに試験燃料の濃縮度を高めてラン・アウト出力による発熱量を大きくしたり、冷却水のサブクール度を下げることによって除熱量を小さくした条件でのNSRR実験が望まれる。また、NSRRの高速トランジェント棒の引き抜きパターンを変更すれば、より高いラン・アウト出力を実現できる可能性もある。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり助言を頂いた石川迪夫室長をはじめとする反応度安全研究室の皆様、また本実験の遂行に御協力下さったNSRR管理室の皆様に感謝します。

参 考 文 献

- (1) NSRR臨界および特性試験報告, JAERI-M 6791 1976年12月
- (2) NSRR実験プログレスレポート・1, JAERI-M 6635 1936年7月
- (3) 都甲泰正, 石川迪夫他「軽水型原子力発電所想定事故時安全対策資料集, アイ・エス・ユー株式会社(東京) 1977年3月
- (4) 星蔦雄, 稲辺輝雄他「反応度事故条件下における末照射燃料の破損挙動」日本原子力学会誌, Vol.20, No.9, 651 (1978)
- (5) 大西信秋, 丹沢貞光「NSRR実験(27), サブクールプール膜沸騰熱伝達」日本原子力学会昭和53年秋分科会予稿集, A33 (1978)
- (6) NSRR実験プログレスレポート・2, JAERI-M 6790 1976年11月

Table-1 Design summary of a standard test fuel rod

<u>fuel</u>	UO ₂ pellets
diameter	9.29 mm
length	10 mm
density	95 % T.D
enrichment	10 %
shape	chamfered
<u>cladding</u>	
material	Zircaloy-4
wall thickness	0.62 mm
<u>rod</u>	
diameter	10.72 mm
gap width	0.095 mm (radial)
<u>element</u>	
overall length	265 mm
fuelled length	135 mm
weight of fuel pellets	95.5 g
plenum gas	He (1 ata)

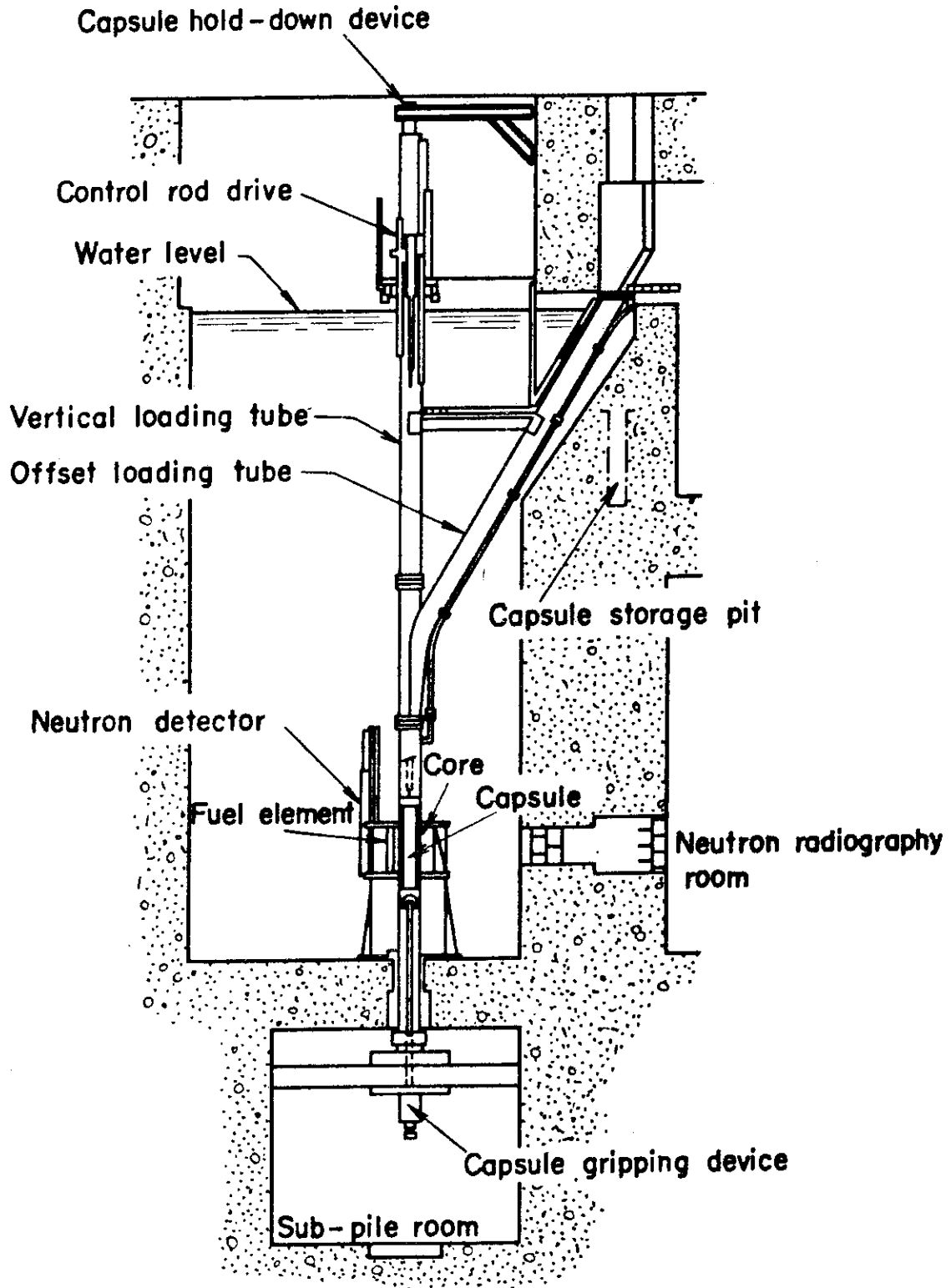


Fig. 1 Schematic configuration of the NSRR

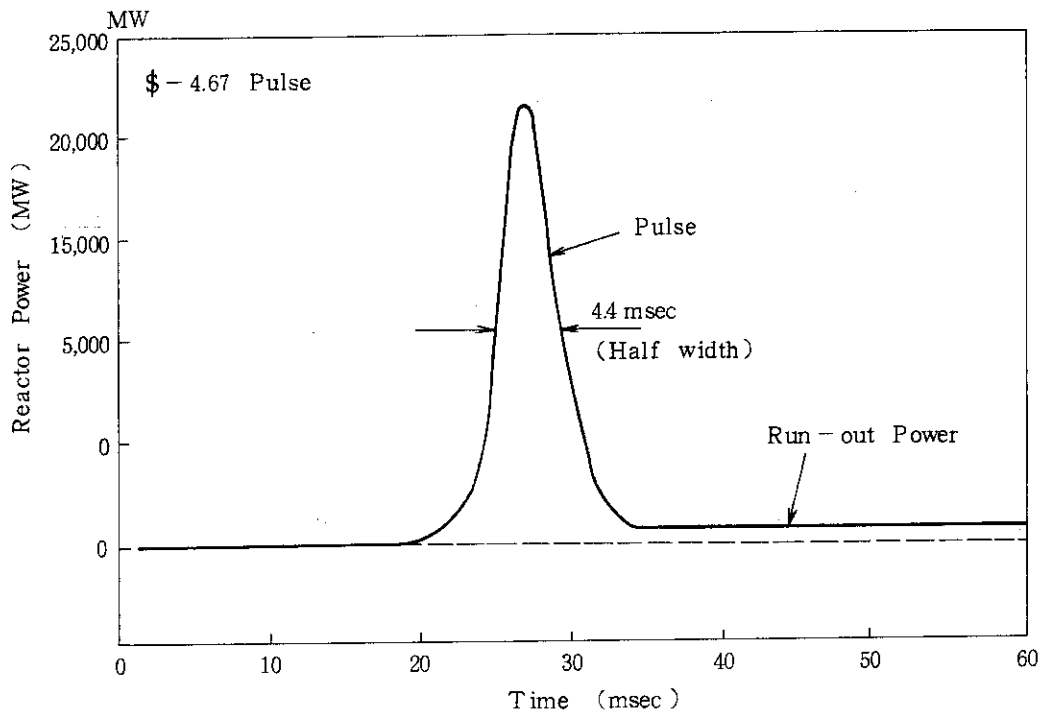


Fig.2 Characteristics of reactor power in case of maximum reactivity insertion to NSRR

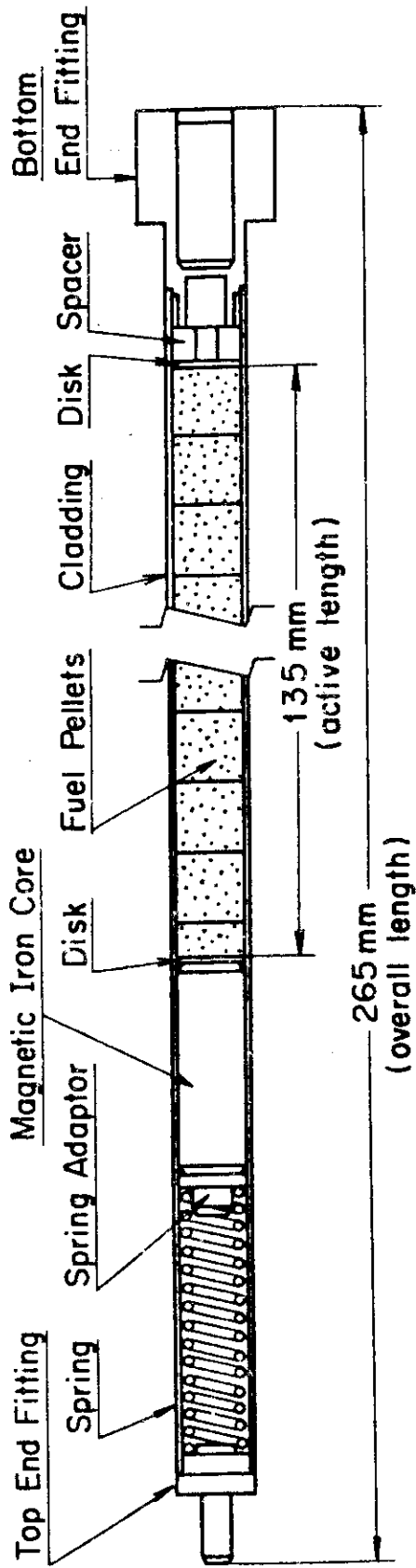


Fig. 3 Standard test fuel rod in NSRR

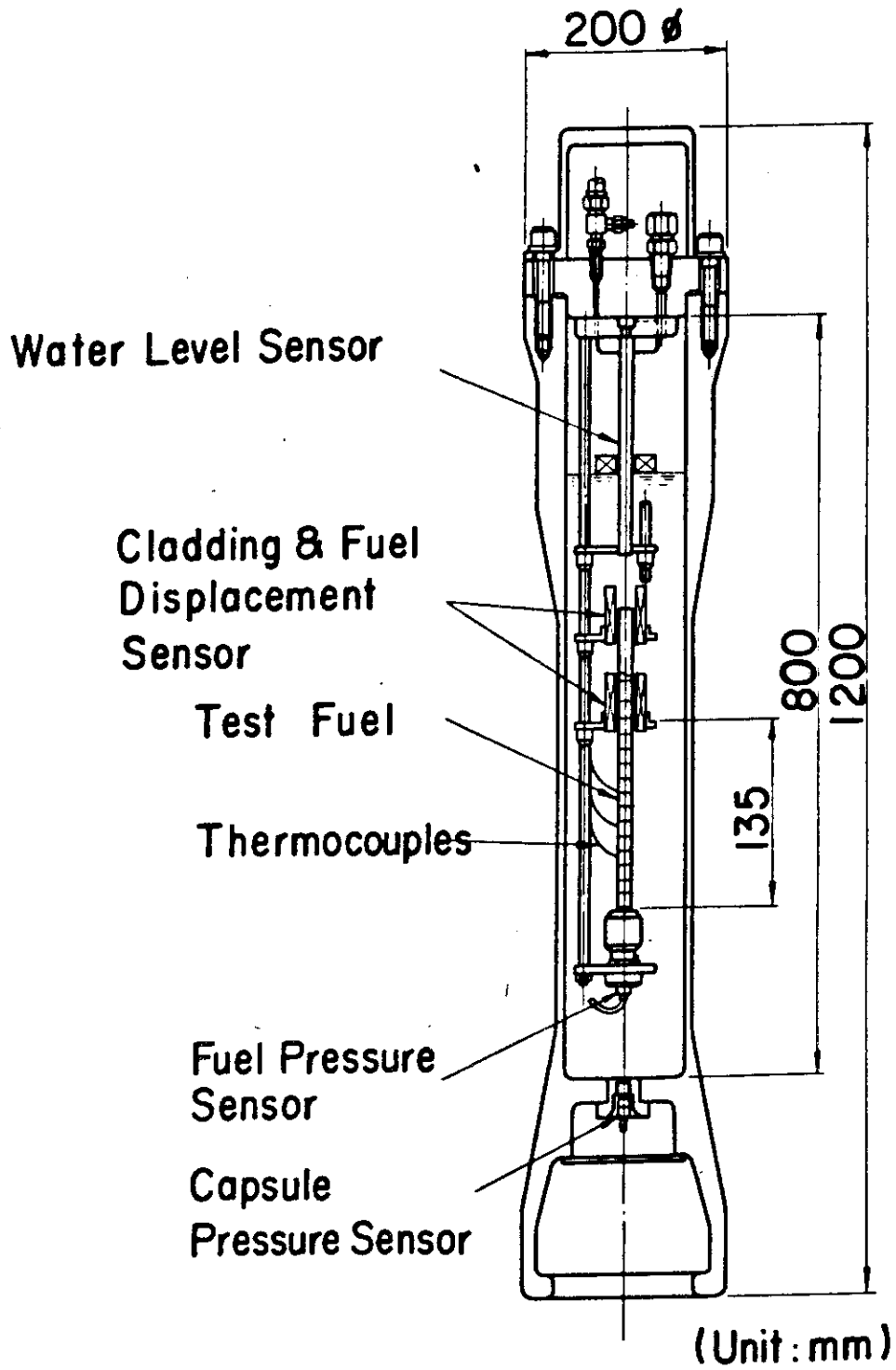


Fig. 4 Standard water capsule in NSRR

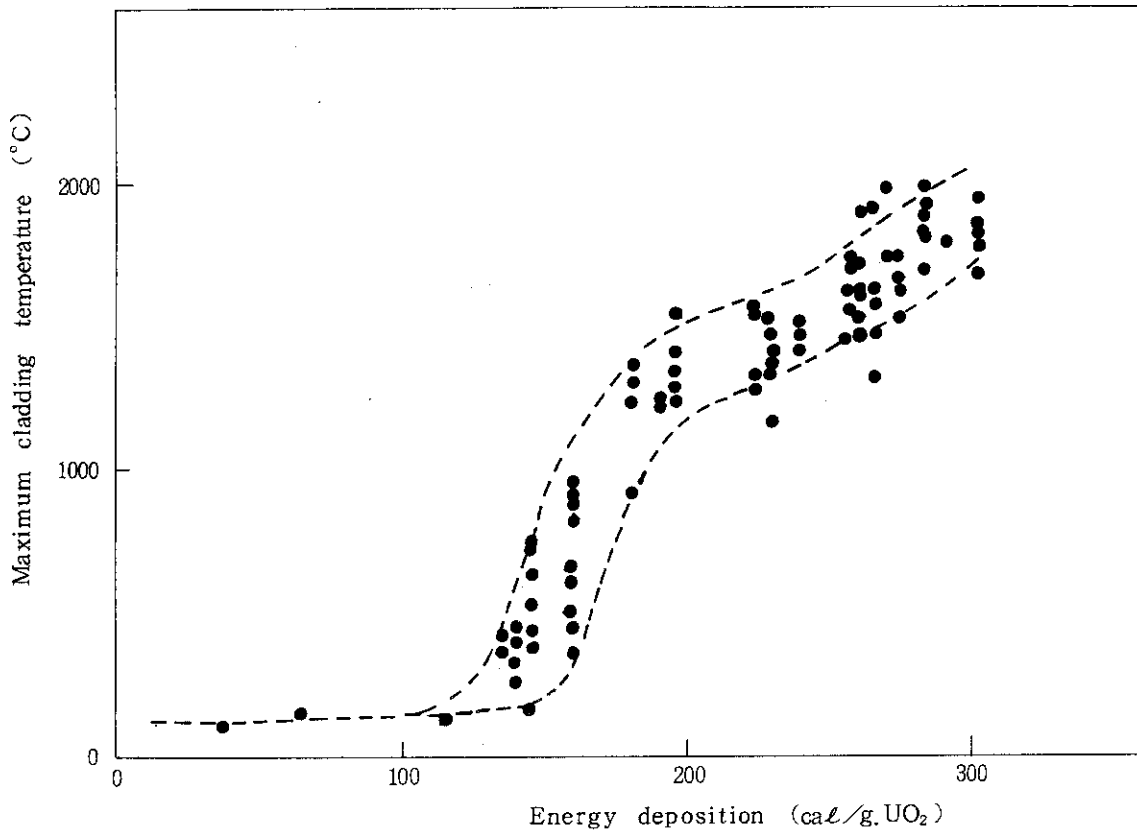


Fig. 5 Effects of energy deposition on the maximum cladding surface temperature

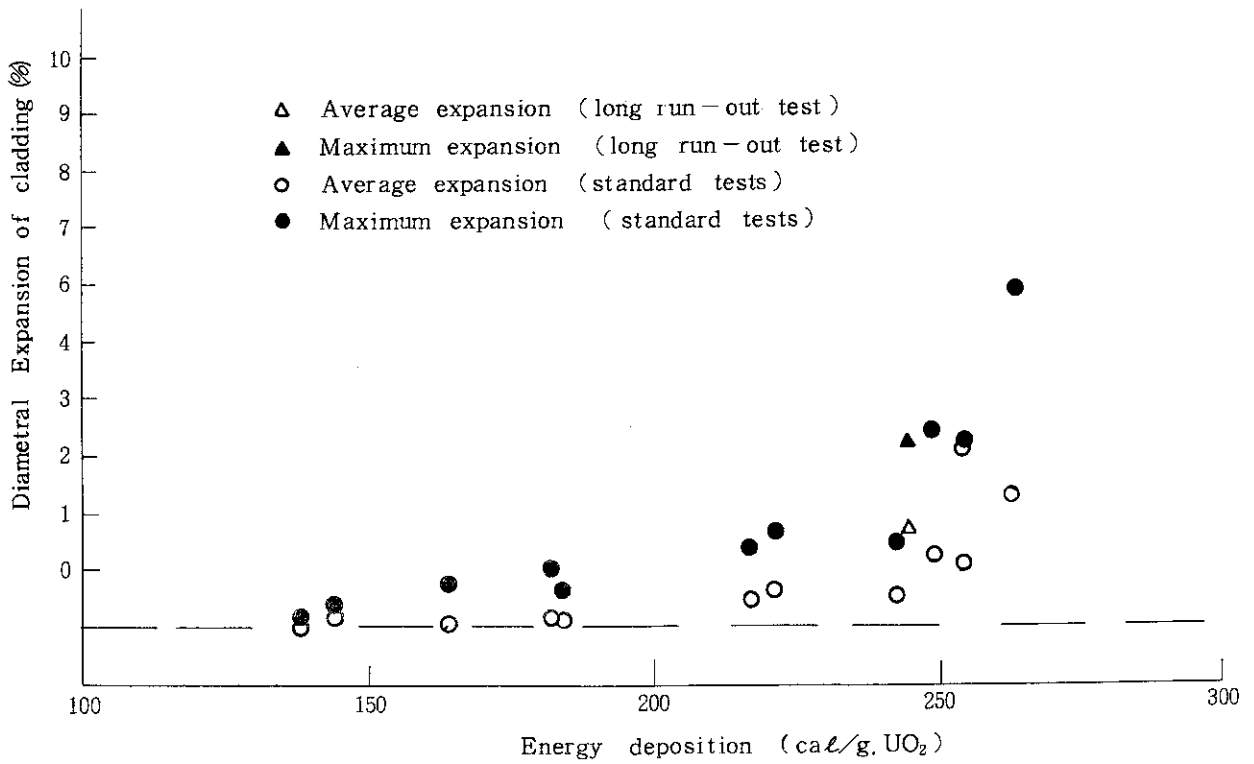


Fig. 6 Diametral expansion of cladding

Test No	Energy deposition
113 - 1	245 cal/g. UO ₂
115 - 3	240
200 - 1 - 2	241
201 - 1	244 + 39 = 283 cal/g. UO ₂

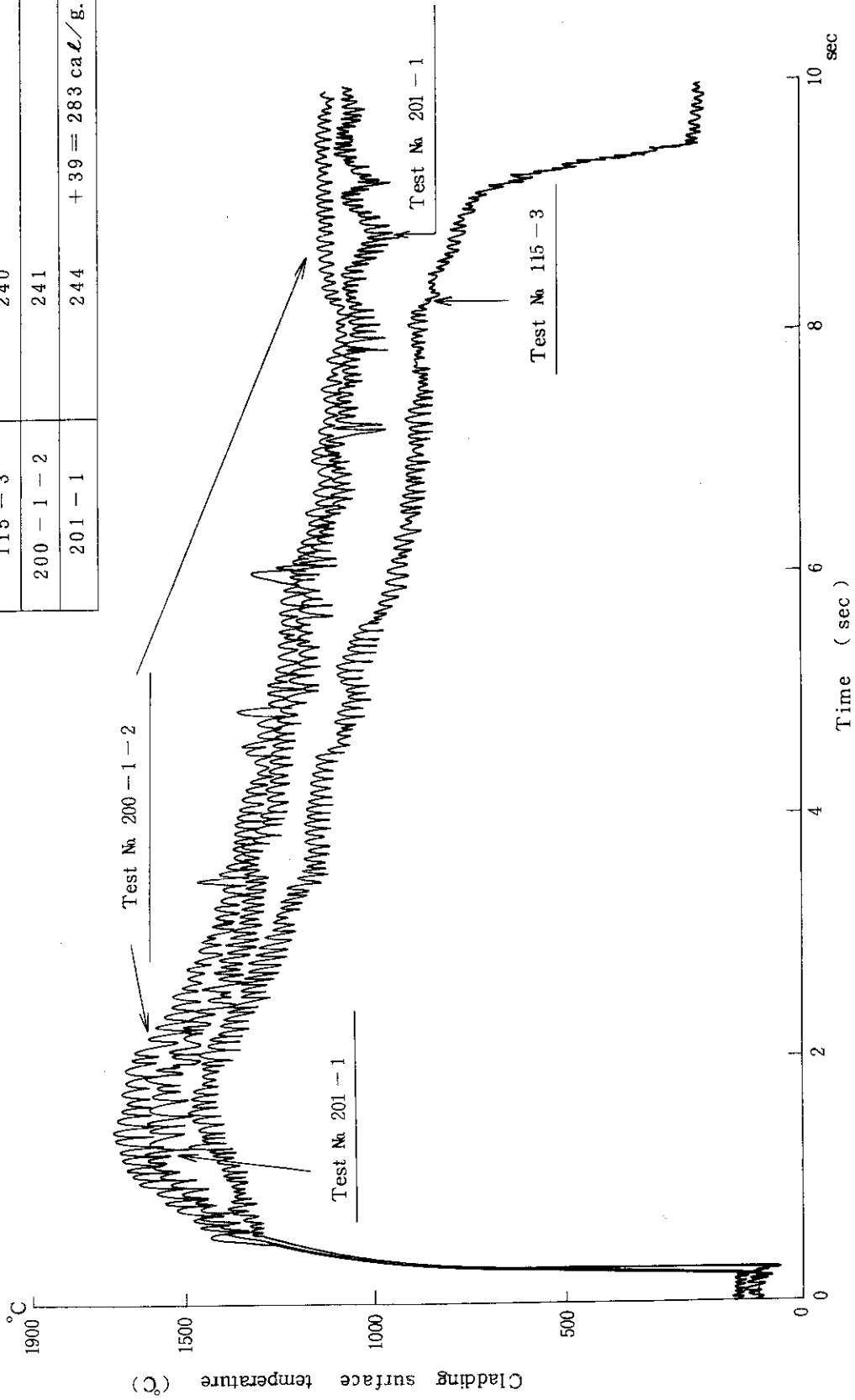


Fig. 7 Effects of the run-out power on the cladding surface temperature

Test No	Energy Deposition
201-2	140 cal/g. UO ₂
201-3	140 + 30 = 170

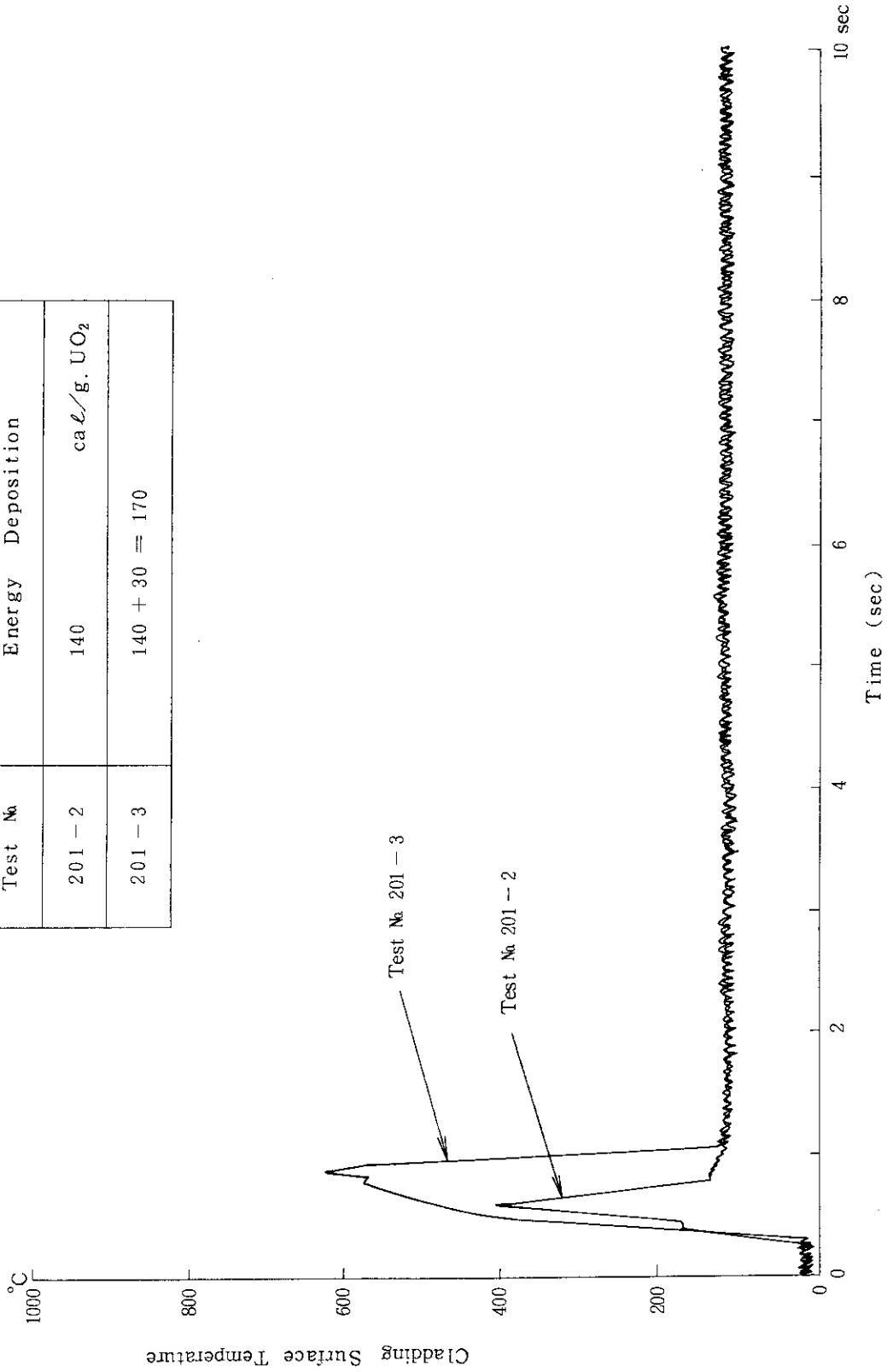


Fig. 8 The effects of run - out power on the cladding surface temperature

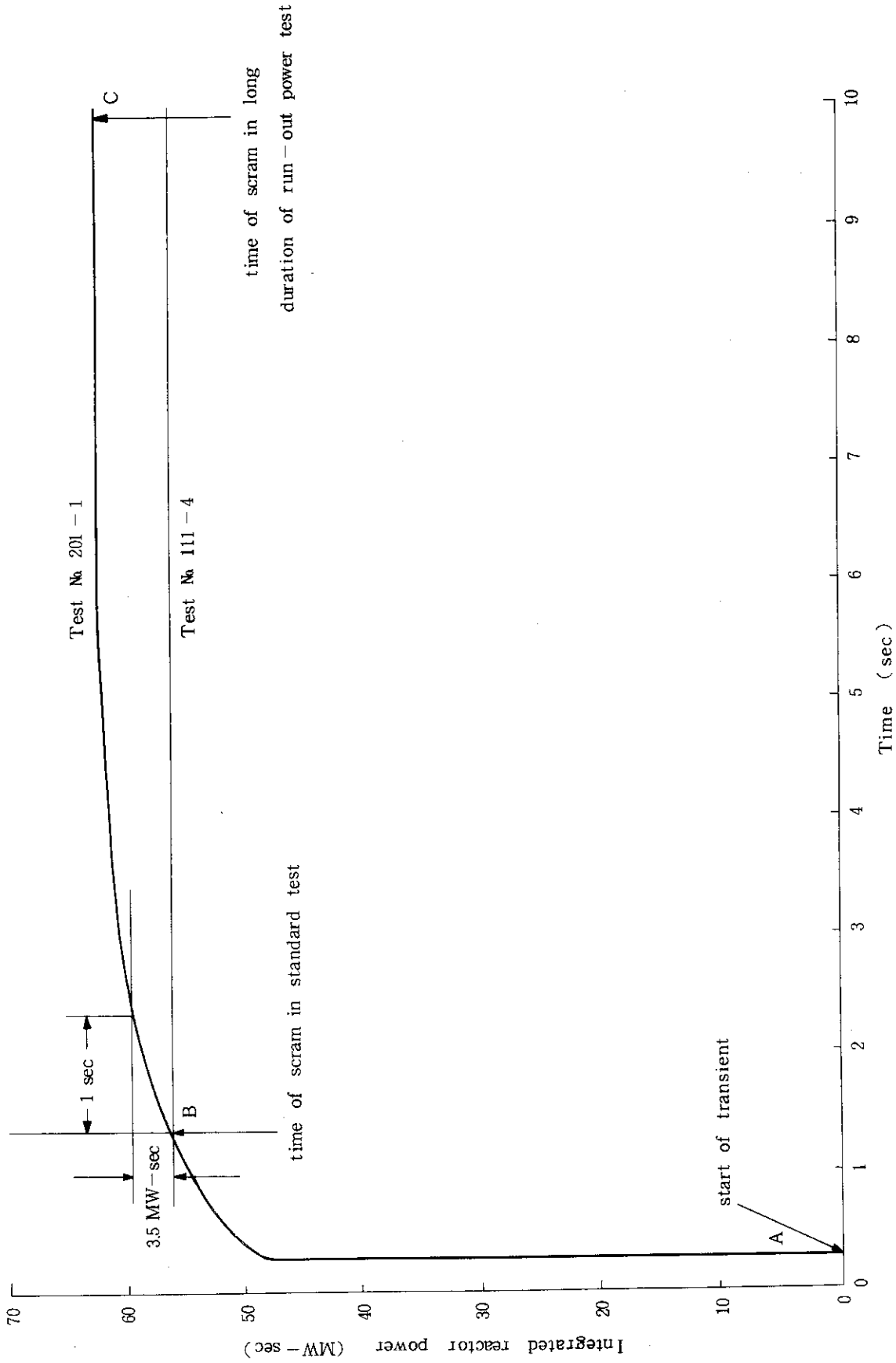
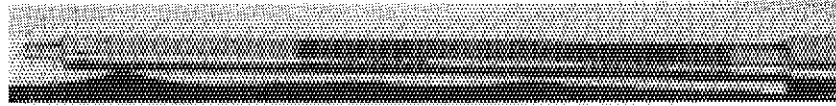
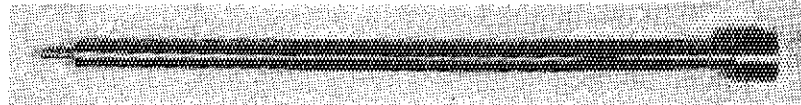


Fig. 9 Integrated power of NSRR



Total energy deposition of 283 cal/g.UO₂
Prompt energy deposition of 244 cal/g.UO₂
(Test No 201-1)

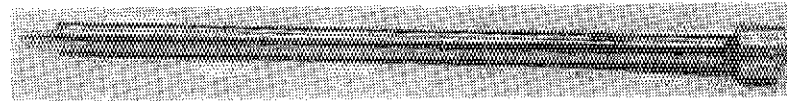


Total energy deposition of 244 cal/g.UO₂
(Test No 111-4)

Photo.1 Test fuel rods after irradiation



Total energy deposition of 170 cal/g.UO₂
Prompt energy deposition of 140 cal/g.UO₂
(Test No 201-3)



Total energy deposition of 140 cal/g.UO₂
(Test No 201-2)

Photo.2 Test fuel rods after irradiation