

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. 20

[技術情報室]

高性能型 (6000 r p m型) 遠心清澄モックアップ装置

性能試験結果報告書(Ⅲ)

-振動特性試験結果(Ⅱ)-

Performannce Test Using Modified(6000rpm type)

Centrifugal Clarifier(Ⅲ)

-Vibration Characteristic Test(Ⅱ)-

1991年12月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

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

は複
管理



高性能型（6000rpm型）遠心清澄モックアップ装置性能試験結果報告書（Ⅲ）

— 振動特性試験結果（Ⅱ） —

中島 一也、衣旗 利夫、河田 東海夫

要 旨

目 的

高性能型（6000rpm型）遠心清澄モックアップ装置は、清澄運転後、不溶解残渣（約2kg）を保持した状態での降速時（定格6000rpmから回転数を下げるとき）に装置本体、設置架台に不安定振動が生じることが確認された。本報告書の目的は、清澄機本体を他の付属機器との共振をなくした架台上に設置し、清澄機本体を発生源とする不安定振動の原因究明と振動低減のための対策を施した状態で、清澄運転後、降速時の振動特性等を把握することである。

方 法

不安定振動の発生要因として、下記に示す4項目が考えられる。

1. 下部軸受ダンパの振動吸収力と回転ボウルが発生する振動力の不釣り合い
2. 給液条件の影響
3. ボウル内液自由表面下の流体振動の影響
4. 設置架台強度の影響

本試験は、上記の項目のうち、項目4に対する対策を実施し、運転中に回転ボウルに加わる負荷の状態を変え、ボウル・軸振動幅の定量測定を実施した。さらに、前回報告書で振動低減にもっとも効果があった横バッフル板を設置した場合について再確認試験を実施した。

結 果

回転ボウル内壁に横バッフル板を設置することにより、下記に示す清澄機性能の改良が成された。

- ① 降速時の不安定振動が生じないこと
この結果により、横バッフル板を設置しない場合は、ボウル内液自由表面下で波立ち（スロッシング現象）が生じていることが推測される。
- ② 清澄運転時の回転数を4000～6000rpm間に設定した場合でも、標準運転条件（100ℓ/h×6h）下の清澄運転が可能となったこと

結 論

本試験結果および前回報告書*1の結果より、回転安定性の面から高性能型機の回転ボウルの給液条件および横バッフル板設置条件は以下の通りとする。

- 給液ノズル条件 — ボウル下面より55mm上で給液する
横バッフル板設置条件 — ボウル下面より150mm上に設置する

注記 *1 — 6章参考文献2) 参照



Performance Test Using Modified(6000rpm type) Centrifugal Clarifier (III)

— Vibration Characteristic Test(II) —

Kazuya Nakashima, Toshio Kinuhata, Tomio Kawata

Abstract

Purpose

We confirmed that modified(6000rpm type) centrifugal clarifier arose the unstable vibration during the reduction of rotating speed under the condition of bearing undissolved residue after the clarification operation. This report describes the cause of unstable vibration that arise in the clarification body set on the rack which induced resonance vibration and the measurement results of vibration characteristic after taking countermeasure for vibration decrease.

Method

It was considered that the causes of the unstable vibration were following;

1. Unbalance between damping force of the lower bearing damper and the vibration force arisen by the rotational bowl
2. Effect of feed condition
3. Effect of self-excited vibration of the free liquid surface
4. Effect of frame strength

The test has been conducted to make quantitative measure of vibration characteristic (amplitude of the rotational bowl and shaft) by changing the load in the rotational bowl.

We also conducted the test to reconfirm the effect of the circumferential baffle plate which has shown the most effective effect to the vibration decrease in the preceding report .

Results

The effects of the circumferential baffle plate placed on the inside wall of the rotational bowl are shown as follows;

1. The unstable vibration during the reduction of rotating speed has been suppressed
By this result, we verified that the vibration on the free liquid surface in the rotational bowl caused the vibration for the bowl without the circumferential baffle plate.
2. It was able to run the clarification operation in the standard condition(100 ℓ/h ×6h) for the rotational speed ranging from 4000 to 6000rpm.

Conclusion

By the results of this test and of the preceding report*1, the feed condition and the condition of setting the circumferential baffle plate are showed in the following, considering the aspects of rotational stability.

1. Condition of feed nozzle

- feed 55mm in height from the lower plate of rotational bowl

2. Condition of setting the side baffle plate

- set 150mm in height from the lower plate of rotational bowl

Note #1 — Reference book 2), the sixth chapter.

— 目 次 —

1. 概 要	1
2. 高性能型機の振動発生要因と低減対策	2
2.1 振動現象と発生要因	2
2.2 遠心清澄機設置架台の特徴	2
3. 振動特性試験	6
3.1 試験目的	6
3.2 試験方法	6
3.3 試験結果	6
3.4 まとめ	11
4. 結 論	12
5. 今後の計画	13
6. 参考文献	14

1.概要

高速炉燃料再処理施設の清澄工程機器として、遠心清澄装置の開発を実施してきた。

図1.1に高性能型（定格6000rpm型）遠心清澄機の開発経緯を示す。

本書は、前回試験において明確になった横バツフル板の設置による振動低減効果¹⁾を再確認するために、遠心清澄機が他機器との共振の影響がない架台上に設置し、振動特性試験を実施した。

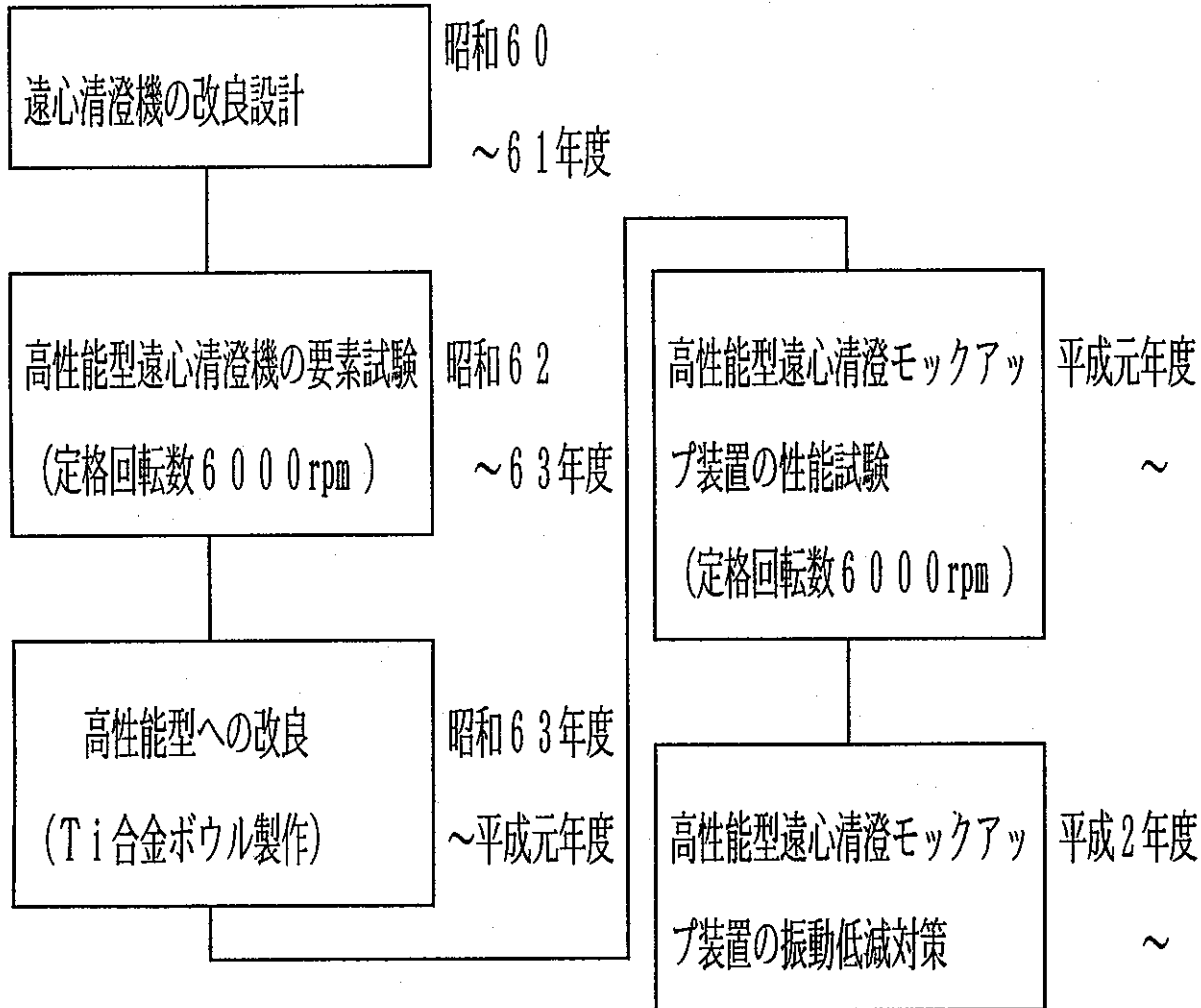


図1.1 高性能型遠心清澄機の開発経緯

2.高性能型機の振動発生要因と低減対策

2.1 振動現象と発生要因

高性能型機（図2.1.1）の場合、サブクリティカル機（3000rpm型）と同じ形状（ただし、材料はサブクリティカル機はSUS304L、高性能型機はTi-6Al-4V）の回転ボウルを用いて、定格回転数（6000rpm）下の清澄運転を行い、その後、残渣（アルミナ2kg）とボウル内液（純水 約5ℓ）を保持したまま、降速した場合、回転ボウルの一次危険速度（1400rpm付近）と5000→3000rpmの間に清澄機本体の不安定振動および清澄機と設置架台の共振現象が生じることが確認された。

その原因として、下記事項が考えられる。

1. 下部軸受緩衝体の減衰力と回転ボウルが発生する振動力の不釣り合い

回転ボウルが発生する振動力を下部軸受ダンパで効率よく減衰できない

2. ボウル内壁に対するスラッジ付着位置の影響

ボウル内壁に対するスラッジ付着位置および付着状態の違いにより、スラッジ自体の回転バランスとしての効果が異なる

3. 流体振動の影響


ボウル内壁のバッフル板で隔てられた隔壁におけるボウル内液の自由液面上の流体振動（波立ち）による影響

4. 設置架台の影響

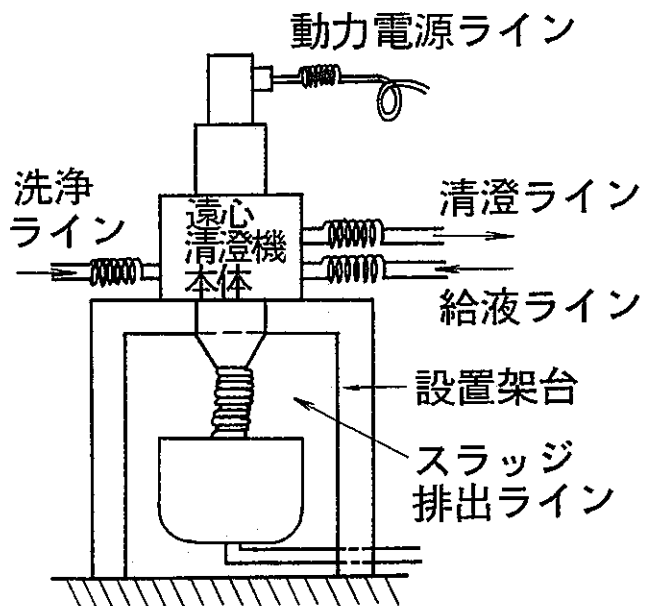
清澄機から発生する振動波と他機器との共振

本報告書では、上記項目の内、項目4に対する対策実施し、他機器との共振が生じないように改造後、前回の報告書²⁾で報告した横バッフル板の不安定振動低減効果を再確認するために実施した振動特性試験結果について記述する。

2.2 遠心清澄機設置架台の特徴

図2.2.1に設置架台構造図、写真2.2.1に外観写真を示す。本架台の特徴は、右図に示すように、遠心清澄機本体に連結している配管類全て（給液ライン、清澄液ライン、洗浄水ライン、スラッジ排出ライン、動力電源ライン）を通じて遠心清澄機の発生する振動波が伝わらないようにするため、フレキシブルチューブで連結した。（図中 ）

この対策により、遠心清澄機と他機器との共振が生じることは考えられなく、架台上の振動は全て、回転ボウルを発生源とする振動である。



主要仕様

型式：遠心型清澄機

全体寸法：全高約2000mm，直径最大約600mm

全体重量：本体；約1200kg，ベース；340kg

回転数：6000rpm（定格）

捕集容量：2kg（最大）

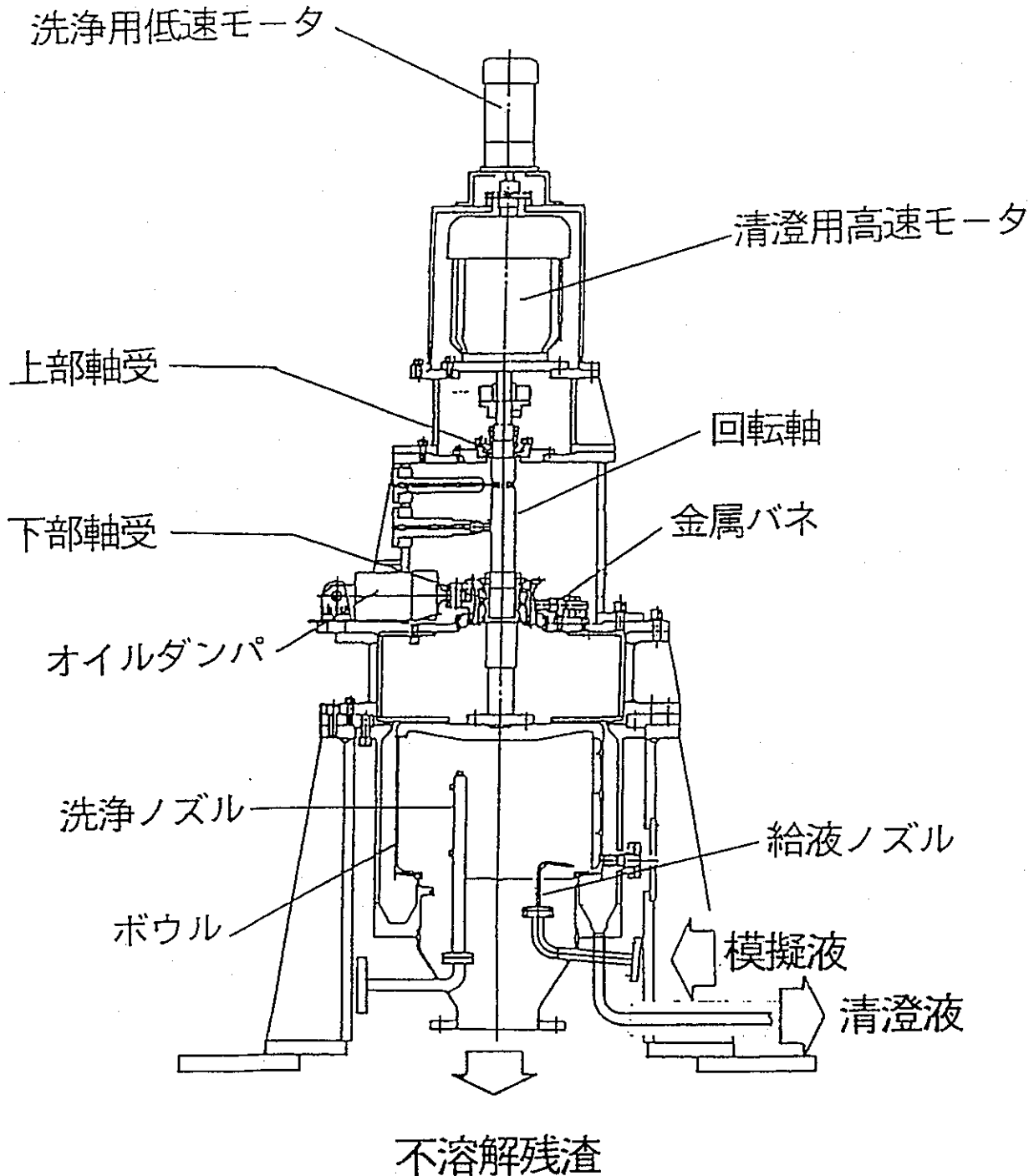
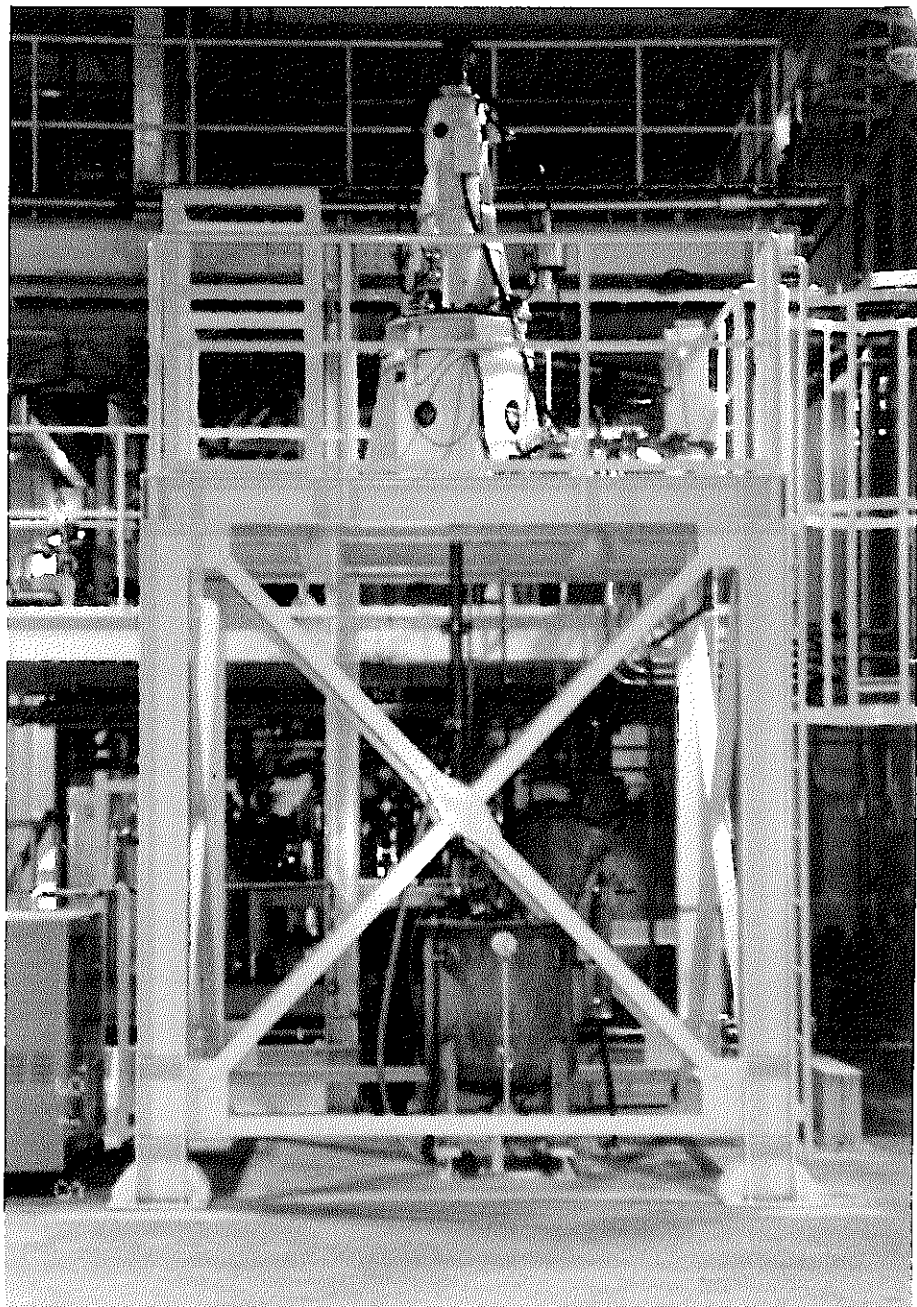


図 2. 1. 1 高性能型(6000rpm型) 遠心清澄
モックアップ装置概略構造図



固有振動数 (SAP-IVによる)

清澄機積載時	一次.....	2	6.1 Hz
	二次.....	2	6.8 Hz
	三次.....	3	7.1 Hz
架台のみ	一次.....	3	0.0 Hz
	二次.....	3	1.0 Hz
	三次.....	3	7.1 Hz

写真 2. 2. 1 設置架台外観

3. 振動特性試験

3.1 試験目的

本試験は、表3.1.1に示す横バッフル板*1を写真3.1.1の様に回転ボウル下面より150 mm上に設置した場合と設置しない場合において、回転中に回転ボウルに加わる負荷の状態の違いによる振動特性を比較することを目的とする。

3.2 試験方法

図3.2.1に高性能型（6000 rpm型）遠心清澄モックアップ装置の概略図、測定ポイントおよび測定系の構成を示す。

本試験は、回転中に回転ボウルに加わる負荷の状態の違いにより、表3.2.1示すような試験項目で構成されており、各試験とも、振動幅は、随時ペンレコーダに記録するシステムである。各試験の共通給液条件を表3.2.2に示す。

3.3 試験結果

3.3.1 無負荷試験の場合

表3.3.1に無負荷試験の試験条件を示す。

(1)無負荷定格運転試験の場合

表3.3.2に、無負荷定格6000 rpm運転の場合のボウル・軸振動幅を示す。

表より、ボウル振動幅は横バッフル板が有る場合では無い場合の約1.3倍となるが、定格運転時の運転基準値*2（ボウル振動幅 $-0.3\text{ mm}^{\text{p-p}}$ 、軸振動幅 $-0.4\text{ mm}^{\text{p-p}}$ ）を十分下回る値であるので、運転上問題はない。また、この回転ボウルの設計条件は、無負荷、横バッフル板無し状態で回転が安定していることであるので、当然の結果と考えられる。

(2)無負荷降速試験の場合

図3.3.1に降速時（定格6000 rpm運転から、回転数を下げる時）のボウル・軸振動幅を示す。

高性能型機の回転ボウルは、一次危険速度（無負荷、横バッフル板無しの場合）が1400 rpm付近にあるため、降速時にこの回転数付近で、ボウル・軸振動幅がピークとなる。図より、横バッフル板が有る場合は無い場合より、振動幅が全体的に大きくなっているが、降速時の運転基準値*3（軸振動幅 $-2\text{ mm}^{\text{p-p}}$ ）を十分下回る値であるので、運転上問題はない。

3.3.2 満水ホールド試験

表3.3.3に満水ホールド試験の試験条件を示す。

(1) 満水ホールド定格運転試験

表3.3.4に満水ホールド定格運転試験の振動幅比較項目を示す。

① 横バッフル板の有無の影響

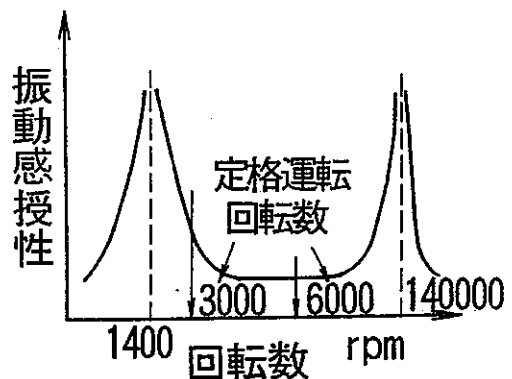
表3.3.5に定格6000rpm運転下で、横バッフル板が有る場合と無い場合の振動幅と変動幅を示す。

表より、横バッフル板が有る場合でも無い場合でも、給液による回転ボウルに加わる負荷変動（模擬液が回転ボウル内壁に衝突する時、生じる力の変動）が生じたとしても、回転ボウルは6000rpm運転下で安定した運転が可能ないように設計されているため、振動幅はほとんど影響を受けていない。

② 定格回転数を変えた場合の影響

表3.3.6に横バッフル板が有る条件で定格回転数を3000～6000rpm間で変えた場合の振動幅と変動幅を示す。

表より、4000～6000rpm間は、変動幅/平均振動幅（以下、変動率という）も小さく、給液により生じる負荷変動の影響も小さい。しかし、3000rpmの場合、振動幅の絶対成分が大きくなるだけでなく、変動率も約80%に達し、不安定な回転となる。これは、本清澄機の回転ボウルが右図



に示すように、一次危険速度が1400rpm付近にあり、この回転数に近くなるに従い、負荷変動に対する回転ボウルの振動感受性が大きくなり、振動幅（絶対成分）も変動幅（相対成分）も大きくなると考えられる。

(2) 満水ホールド降速試験

表3.3.7に満水ホールド降速試験の振動幅比較項目を示す。

① 横バッフル板の有無の影響

図3.3.2(1)、(2)に、それぞれ横バッフル板が有る場合と無い場合で給液を停止した状態で降速した場合、給液を続行した状態で降速した場合の振動幅を示す。

図より、給液停止状態で降速した場合でも、給液続行状態で降速した場合でも、横バッフル板による流体振動低減効果が顕著に表れている。それに反して、横バッフル板がない場合は、清澄機本体、設置架台等の振動が生じるボウル振動幅 約 $1\text{mm}^{\text{P-P}}$ （実験値）を大幅に越えており、清澄機本体、設置架台等の振動が確認された。

②定格回転数を変えた場合の影響

図3.3.3(1)、(2)に、それぞれ横バッフル板有りの状態で、定格回転数を変え、運転後、降速時のボウル・軸振動幅を示す。

図より、定格3000～6000rpm間では、最大ボウル振動幅でも1mm^{p-p}に達せず、清澄機本体、設置架台等の振動が生じないことが確認された。

(参考 — 横バッフル板がない場合、最大ボウル振動幅が6mm^{p-p}に達し、清澄機本体、設置架台等の振動が確認された。)

③給液状態の影響

図3.3.4(1)、(2)に、それぞれ横バッフル板有無の状態で、降速時に給液を停止した場合と続行した場合の振動幅を示す。

横バッフル板有りの状態(図3.3.4(1))で、給液を続行して降速した場合、給液による流体の流れ、すなわち外乱により横バッフル板の振動低減効果が失われ、不安定振動が生じることが確認された。

さらに、横バッフル板無しの状態(図3.3.4(2))でも、同様な現象が生じ、不安定振動が増幅されていることが確認できた。

3.3.3 清澄試験

表3.3.8、表3.3.9に清澄試験の試験条件を示す。

(1)清澄定格運転試験

①横バッフル板の有無の影響

図3.3.5(1)、(2)に、それぞれ模擬液粒子径の大きい条件(1.5/2.2 μ m ϕ 混合)、小さい条件(0.4 μ m ϕ 単種)下の横バッフル板の有無の振動幅への影響を示す。

模擬液粒子径の大きい条件(図3.3.5(1))の場合、横バッフル板有りの方が同じスラッジ堆積量では若干ボウル・軸振動幅とも大きくなっているが、運転基準値(ボウル—0.3mm^{p-p}、軸—0.4mm^{p-p})と比較して、十分小さいので運転上問題はない。模擬液粒子径の小さい条件(図3.3.5(2))の場合、横バッフル板の有無に関係なく、スラッジ堆積量の増加に伴い、ボウル振動幅は減少、軸振動幅は増加傾向にある。

②定格回転数を変えた場合の影響

図3.3.6に横バッフル板有りの状態で、定格運転数6000、4000rpmの場合の清澄運転時の振動幅を示す。

図より、定格回転数を4000rpmにした場合、スラッジ堆積量の増加に伴い、ボウル振動幅は増加しているが、標準運転条件(100 $l/h \times 6h$ 、スラッジ堆積量2kg)では、最大ボウル振動幅が約0.3mm^{p-p}となり、運転基準値内である。従って、横バッフル板有りの状態では、定格回転数4000rpmでも清澄運転が可能であることが確認できた。

③模擬液粒子径の大小の影響

図3.3.7(1)、(2)に、それぞれ横バッフル板の有無の状態、模擬液粒子径を変えた場合の振動幅を示す。

図より、横バッフル板の有無に関係なく、模擬液粒子径の大小の影響はほとんど無いことが確認できる。

(2)清澄降速試験

①横バッフル板の有無の影響

図3.3.8(1)、(2)に、それぞれ模擬液粒子径の大きい条件(1.5/2.2 μm φ混合)、小さい条件(0.4 μm φ単種)の場合の横バッフル板の有無の降速時の振動幅を示す。

模擬液粒子径の大きい条件、小さい条件共に横バッフル板の無い状態では一次危険速度通過時(1500~2000 rpm付近)で、ボウル振動幅が最大となり、不安定振動が生じている。従って、横バッフル板による降速時の振動低減効果が明確に表れている。

②定格回転数を変えた場合の影響

図3.3.9に横バッフル板有りの状態で、定格運転数6000、4000 rpmの場合の降速時の振動幅を示す。

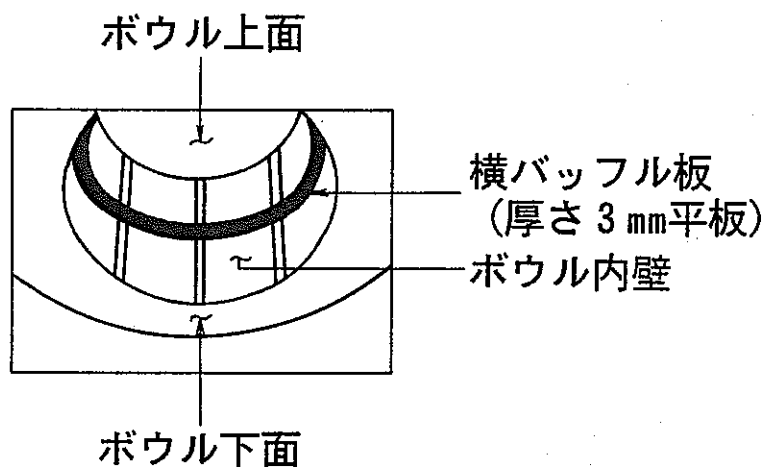
図より、定格回転数を変えても最終スラッジ堆積量は約2000 gと一定なので、降速時の振動幅(ボウル・軸振動幅)はほとんど差異が生じていない。

③模擬液粒子径の大小の影響

図3.3.10(1)、(2)に、それぞれ横バッフル板の有無の状態、模擬液粒子径を変えた場合の降速時の振動幅を示す。

図より、横バッフル板の有無に関係なく、模擬液粒子径の小さい条件の方が降速時の振動幅が大きい傾向にある。

注記 *1 — 横バッフル板
 回転ボウル内壁に円周に沿って設置する平板リング状(厚さ3 mm程度)の板を指す。



ボウル内部状況

- *2 — 定格運転時の運転基準値
 回転ボウルの円周方向に40 g(実験値)のアンバランスを付け、定格6000 rpm回転させた場合の振動幅の1/2と設定した。
- *3 — 降速時の運転基準値
 降速時における運転基準値は定められていないが、本装置では回転軸の材料許容応力(0.2%耐力)となる軸振動幅を基準値として定めた。

3.4.まとめ

3.4.1高性能型（6000rpm型）遠心清澄機の回転ボウル

振動特性試験の種類は、回転中の回転ボウルに加わる負荷の強さの違いにより、下記に示す試験に分類される。（詳細は表3.2.1参照）

- | | |
|-----------|---------------|
| ①無負荷試験 | ・無負荷定格運転試験 |
| | ・無負荷降速試験 |
| ②満水ホールド試験 | ・満水ホールド定格運転試験 |
| | ・満水ホールド降速試験 |
| ③清澄試験 | ・清澄定格運転試験 |
| | ・清澄降速試験 |

上記試験のうち、実溶解液の清澄条件を模擬した試験は、③清澄試験であるため、高性能型（6000rpm型）遠心清澄機の回転ボウル仕様は③清澄試験の試験結果において最も安定した運転となる条件を定める。

表3.4.1に清澄試験における振動幅測定結果を示す。

表より、清澄定格運転試験では、回転ボウル内壁に横バッフル板を設置した場合（Run210-12～14）の方が設置しない場合（Run210-10、11）より、若干の振動幅増加が見られるが、定格運転時の運転基準値内であるので、運転上問題はない。

次に、清澄降速試験では、回転ボウル内壁に横バッフル板を設置することにより振動幅が大幅に低減し、不安定振動も生じないことが確認された。

さらに、横バッフル板を設置した場合には、設置しない場合では定格運転時の運転基準値内で運転できなかった条件（4000rpm清澄運転）でも、定格運転時の運転基準値内で行えることが確認された。

従って、高性能型（6000rpm型）遠心清澄機の回転ボウルは、清澄液のボウル内壁に沿う上昇流を促進する縦バッフル板+降速時の不安定振動を低減する横バッフル板（ボウル下面より150mm上）を設置する構造とする。

3.4.2降速時の不安定振動発生要因に関する考察

本項において、横バッフル板を設置することにより降速時の不安定振動が低減する原因について考える。降速時の不安定振動の主原因として、危険速度通過時の共振と降速時のボウル内部にホールドされている模擬液の自由表面上における波立ち（スロッシング現象）が考えられる。

まず、危険速度通過時の共振は本機の回転ボウルの持つ固有値であり、形状、材質、重量を変更しない限り、危険速度は変わらないため、この現象は横バッフル板の設置により、低減は可能であるが、抑制することは不可能である。

次に、スロッシング現象は、回転中に回転ボウル内に含まれる液の深さ、液が入っている容器の形状および回転数と密接な関係があり、それらの条件により生じる場合と生じない場合がある。

4. 結論

回転中の回転ボウルに加わる負荷の状態の違いにより、各種の振動特性試験を実施し、下記結論を得た。

- ① 無負荷試験では、横バッフル板を設置することにより、ボウル・軸振動幅が若干増加することが確認されたが、定格運転時の運転基準値以下であるので運転上問題はない。さらに、遠心清澄機の清澄工程で、無負荷運転されるのは、昇速時（0 rpmから定格運転回転数まで回転数を上げる時）の場合だけであるので、振動幅の若干増加は清澄運転上支障はない。
- ② 満水ホールド試験、清澄試験では、横バッフル板を設置することにより、設置しない場合に生じていた降速時（定格回転数から0 rpmへ回転数を下げる時）の不安定振動（清澄機本体および架台）が生じない。この結果により、ボウル内液を含んだ状態での降速時には、ボウル内液の自由表面下で波立ち（スロッシング現象）が生じていることが考えられる。
- ③ 回転ボウルに横バッフル板を設置することにより、標準運転条件（給液流量100ℓ／6h、高速炉燃料溶解液模擬液使用）下の運転回転数4000rpmの清澄運転が問題なく行えることが確認できた。この結果により、横バッフル板を設置した場合、清澄運転回転数4000～6000rpm間で任意に設定できるようになった。
- ④ 高性能型（6000rpm型）遠心清澄機の回転ボウルには、清澄液のボウル内壁に沿う上昇流を促進する縦バッフル板＋降速時の不安定振動を低減する横バッフル板（ボウル下面より150mm上）を設置する構造とする。

5. 今後の計画

① 下部軸受緩衝体機構の簡素化

回転ボウルの半径方向の振動をバネ+オイルダンパを組み合わせた下部軸受緩衝体を3000rpm型機と同じゴムダンパに改造することにより緩衝体機構の簡素化を図り、遠心清澄機運転時の振動特性試験を実施する。

② スロッシング現象の可視化

不安定振動発生時に回転ボウル内で生じていると考えられるボウル内液表面下の波立ち現象（スロッシング現象）を確認するために、回転ボウル内の可視化を行う。

6.参考文献

- (1)中島、他：高性能型（6000rpm型）遠心清澄モックアップ装置性能試験
結果報告書（I） PNC PN8410-91-186 （1991）
- (2)中島、他：高性能型（6000rpm型）遠心清澄モックアップ装置性能試験
結果報告書（II） — 振動特性試験結果（I） —
PNC PN8410-91-325 （1991）
- (3)森下、他：液体で満たされた回転体の不安定振動（回転体の縦横比の影響および
不安定防止法） 日本機械学会論文集（C編）56巻531号 （1990）
- (4)井出、他：液体を内蔵する中空回転体の振動（実験的研究）
日本機械学会論文集（B編）P224～ （1990）
- (5)日刊工業新聞社：粉体工学用語辞典 粉体工学会編 （1981）
- (6)丸善(株)：化学工学便覧（改訂4版） 化学工学協会編 （1985）
- (7)機械工学便覧（改訂6版） 日本機械学会編 （1985）

表 3. 1. 1 横バツフル板仕様

項目	諸元	備考
寸法	外形400×内径350×厚さ3 (mm)	
材質	ステンレス (880g)	
清澄液流路面積	$5.45 \times 10^3 \text{ mm}^2$ (横バツフル板がない場合の3/10)	横バツフル板がない場合 $1.81 \times 10^4 \text{ mm}^2$

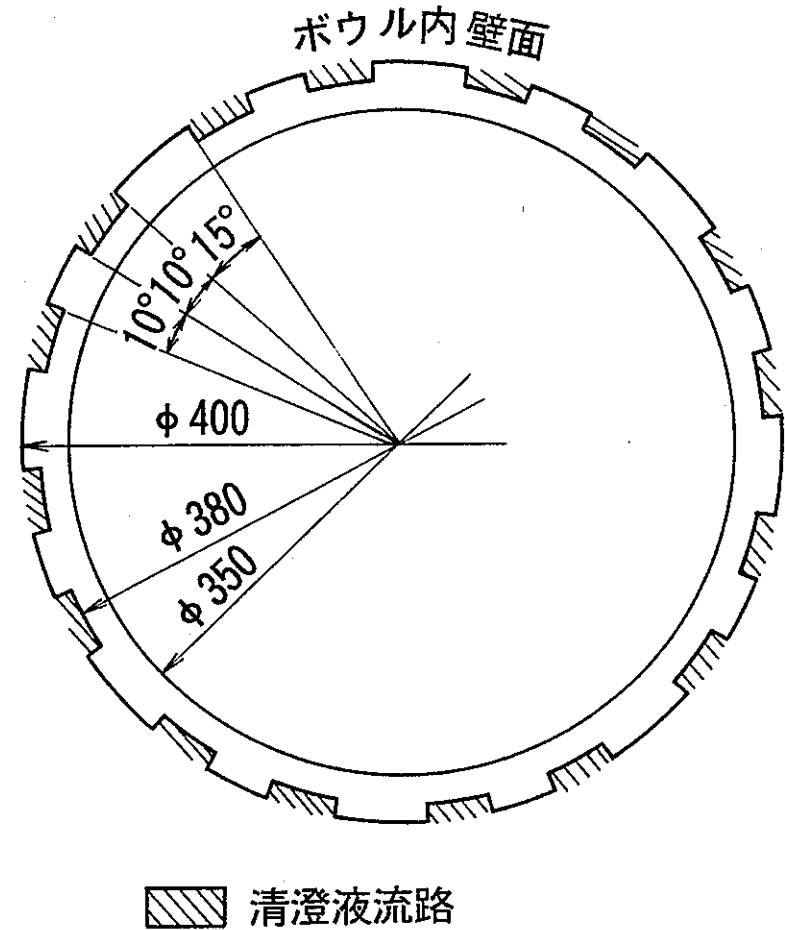


表 3. 2. 1 試験項目

試験項目		試験内容
無負荷試験	無負荷定格運転試験	定格回転数で回転ボウルを回転させる
	無負荷降速試験	定格回転数からフリーランにより回転数を下げる
満水ホールド試験	満水ホールド定格 運転試験	回転ボウル内に純水が満水状態（約5ℓ）のまま、定格回転数で回転ボウルを回転させる
	満水ホールド降速試験	回転ボウル内に純水が満水状態のまま、定格回転数からフリーランにより回転数を下げる
清澄試験	清澄定格運転試験	*1 定格回転数で高速炉燃料溶解液模擬液を給液し、清澄運転を行う
	清澄降速試験	定格回転数での清澄運転後、フリーランにより回転数を下げる

*1 6章参考文献 1) 参照

表 3.2.2 共通給液条件

項目	内容	備考
給液ノズル高さ	ボール下面より55mm上で給液する	給液リーク率が最小となるノズル高さ (6章 参考文献1) 参照
給液量	100ℓ/h×6h	清澄試験時のみの給液条件

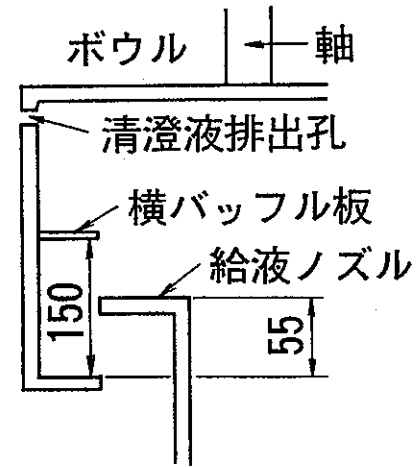


表 3. 3. 1 試験条件 (Run No. 210-1~2、無負荷試験)

Run No.	模 擬 液			給液流量 (ℓ/h)	給液時間 (h)	回転数 (rpm)	推定堆積 スラッジ量 (g)	給液ノズル条件		横バッフル板* ² 条件	下部軸受緩衝体仕様
	模擬スラッジ	スラッジ濃度 (g/ℓ)	分散媒					給液方向* ¹	給液高さ* ²		
210-1	—	—	—	—	—	6000	—	—	—	—	バネ+オイルダンパ
210-2	—	—	—	—	—	—	—	—	150	—	バネ定数=9 kgf/cm 減衰係数 =20 kgf・s/cm

* 1 ボウル回転方向に対する角度 (°)

* 2 ボウル下面からの高さ (mm)

表 3. 3. 2 無負荷定格運転試験時の振動幅

Run No.	試験条件			試験結果	
	定格回転数 (rpm)	横バッフル板条件	下部軸受緩衝体仕様	定格運転時の振動幅 (mm ^{p-p})	
				ボウル	軸
210-1	6000	—————	バネ+オイルダンパ バネ定数=9kgf/cm 減衰係数=20kgf・s/cm	0.133	0.044
210-2		ボウル下面より150mm 上に横バッフル板を取り付ける		0.176	0.044

表 3. 3. 3 試験条件 (Run No. 210-3~9、満水ホールド試験)

Run No.	模 擬 液			給液流量 (ℓ/h)	給液時間 (h)	回転数 (rpm)	推定堆積 スラッジ量 (g)	給液ノズル条件		横バツフル板* ² 条件	下部軸受緩衝体仕様
	模擬スラッジ	スラッジ濃度 (g/ ℓ)	分散媒					給液方向* ¹	給液高さ* ²		
210-3	—	—	純 水	—	—	—	—	—	—	—	バネ+オイルダンパ バネ定数=9 kgf/cm 減衰係数 =20 kgf・s/cm
210-4										6000	
210-5										3000	
210-6										4000	
210-7										5000	
210-8* ³										6000	
210-9* ³										—	

* 1 ボウル回転方向に対する角度 ($^{\circ}$)

* 2 ボウル下面からの高さ (mm)

* 3 給液を続行した状態で降速する

表 3. 3. 4 満水ホールド定格運転試験の比較項目

比較項目	比較対象Run No.
横バツフル板の有無の影響	210-3、210-4
定格回転数の影響	210-4~7

* Run210-3と210-9、Run210-4と210-8はそれぞれ給液続行状態で降速する場合と給液停止状態で降速する場合の違いであり、定格運転時には影響はなく、同じ条件となる。

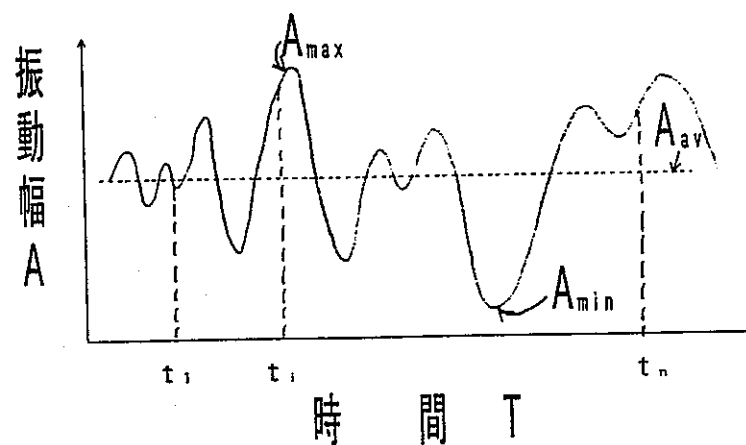
表 3. 3. 5 遠心清澄機(6000rpm型) 給液中の振動幅変動
(満水ホールド運転試験)

Run No.	回転数 (rpm)	横バブル場の有無	ボ ウ ル		軸	
			平均振動幅±変動幅 (A_{av}) (ΔA) (mm)	変動幅 平均振動幅 (%)	平均振動幅±変動幅 (A_{av}) (ΔA) (mm)	変動幅 平均振動幅 (%)
2 1 0 - 3	6 0 0 0	無し	0.192±0.02	1. 0	0.136±0.00	0. 0
2 1 0 - 4		有り	0.200±0.02	1. 0	0.224±0.008	3. 6

(注記) 平均振動幅、変動幅の定義

$$\text{平均振動幅 } A_{av} = (\sum_{i=1}^n A(t_i)) / n$$

$$\text{変動幅 } \Delta A = (A_{max} - A_{min}) / 2$$



**表 3. 3. 6 遠心清澄機(6000rpm型) 給液中の振動幅変動
(満水ホールド運転試験)**

Run No.	回転数 (rpm)	横バツフル場の有無	ボ ウ ル		軸	
			平均振動幅±変動幅 (A _{av}) (ΔA) (mm)	変動幅 平均振動幅 (%)	平均振動幅±変動幅 (A _{av}) (ΔA) (mm)	変動幅 平均振動幅 (%)
2 1 0 - 4	6 0 0 0	有り	0.2 0 0 ± 0.0 2	1. 0	0.2 2 4 ± 0.0 0 8	3. 6
2 1 0 - 7	5 0 0 0		0.0 9 9 ± 0.0 0 2	2. 0	0.0 4 5 ± 0.0 0 8	1 1. 0
2 1 0 - 6	4 0 0 0		0.0 5 7 ± 0.0 0 2	3. 5	0.0 2 2 ± 0.0 0 8	3 6. 4
2 1 0 - 5	3 0 0 0		0.2 0 0 ± 0.1 6	8 0. 0	0.0 7 8 ± 0.0 2 7	3 4. 6

(注記) 平均振動幅、変動幅の定義

$$\text{平均振動幅 } A_{av} = (\sum_{i=1}^n A(t_i)) / n$$

$$\text{変動幅 } \Delta A = (A_{max} - A_{min}) / 2$$

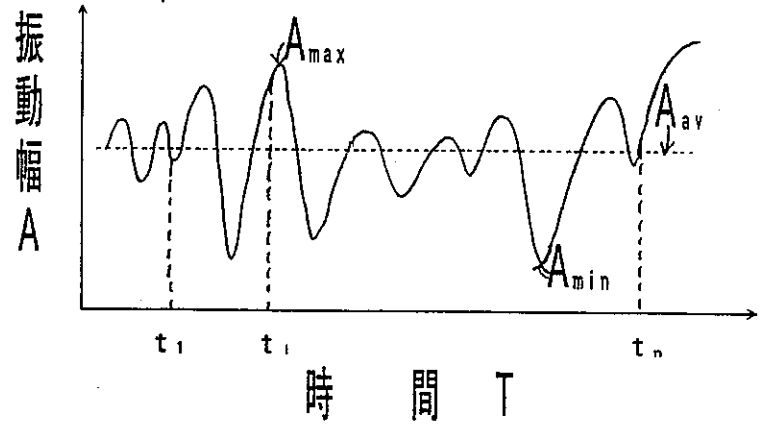


表 3. 3. 7 満水ホールド降速試験の比較項目

比較項目		比較対象Run No.
横バッフル板 有無の影響	給液停止降速時	210-3、210-4
	給液続行降速時	210-8、210-9
定格回転数の影響		210-4~7
給液停止降速と給液 続行降速との違い	横バッフル板有り	210-4、210-8
	横バッフル板無し	210-3、210-9

表 3.3.8 試験条件 (Run No. 210-10~13、定格6000rpm清澄試験)

Run No.	模擬液			給液流量 (l/h)	給液時間 (h)	回転数 (rpm)	推定堆積 スラッジ量 (g)	給液ノズル条件		横バッフル板* ² 条件	下部軸受緩衝体仕様
	模擬スラッジ	スラッジ濃度 (g/l)	分散媒					給液方向* ¹	給液高さ* ²		
210-10	Al_2O_3 1.5 : 2.2 $\mu m\phi$ = 2 : 1 wt (%)	3.33	純水	100	6	6000	2000	90	55	150	バネ+オイルダンパ バネ定数=9kgf/cm 減衰係数 =20kgf·s/cm
210-11	Al_2O_3 (0.4 $\mu m\phi$)										
210-12	Al_2O_3 1.5 : 2.2 $\mu m\phi$ = 2 : 1 wt (%)										
210-13	Al_2O_3 (0.4 $\mu m\phi$)										

* 1 ボウル回転方向に対する角度 ($^{\circ}$)

* 2 ボウル下面からの高さ (mm)

表 3. 3. 9 試験条件 (Run No. 210-14、定格4000rpm清澄試験)

Run No.	模 擬 液			給液流量 (ℓ/h)	給液時間 (h)	回転数 (rpm)	推定堆積 スラッジ量 (g)	給液ノズル条件		横バツフル板 ^{*2} 条件	下部軸受緩衝体仕様
	模擬スラッジ	スラッジ濃度 (g/ ℓ)	分散媒					給液方向 ^{*1}	給液高さ ^{*2}		
210-14	Al ₂ O ₃ 1.5 : 2.2 $\mu m\phi$ = 2 : 1 wt %)	3.33	純水	100	6	4000	2000	90	55	150	バネ+オイルダンパ バネ定数=9kgf/cm 減衰係数 =20kgf・s/cm

* 1 ボウル回転方向に対する角度 (°)

* 2 ボウル下面からの高さ (mm)

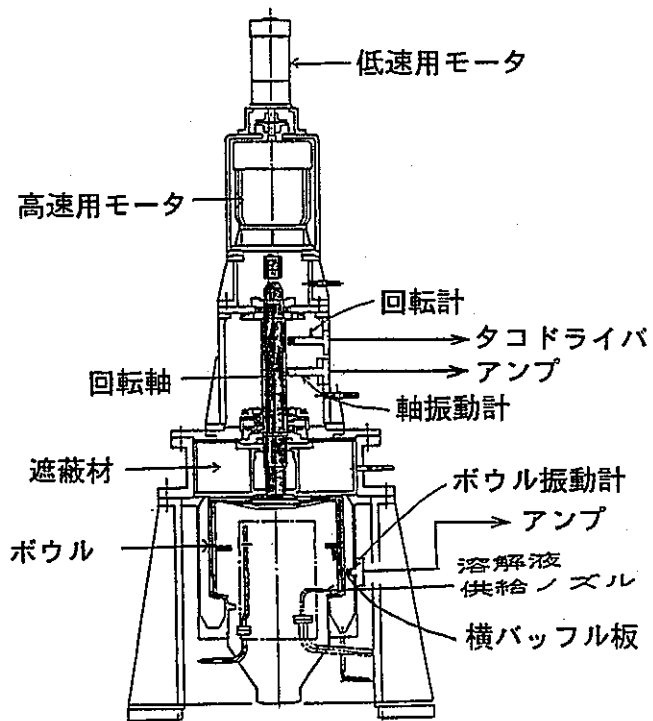
表 3. 3. 10 清澄試験の比較項目

比較項目		比較対象Run No.
横バッフル板 有無の影響	模擬液粒径大	210-10、210-12
	模擬液粒径小	210-11、210-13
定格回転数の影響		210-12、210-14
模擬液粒径 大小の影響	横バッフル板有り	210-10、210-11
	横バッフル板無し	210-12、210-13

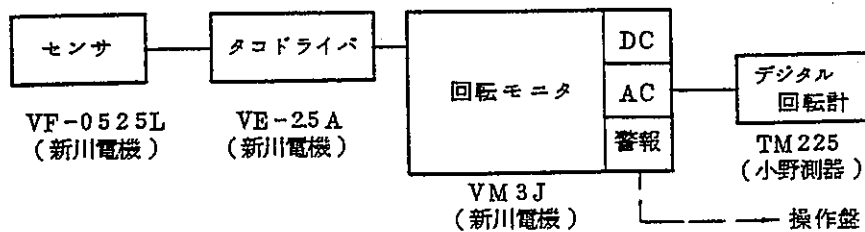
表 3. 4. 1 清澄試験における振動幅測定結果

Run No	模擬スラッジ粒径	清澄運転回転数 (rpm)	横バッフル板条件	清澄定格運転試験時の最大振動幅 (mm ^{p-p})		清澄降速試験の最大振動幅 (mm ^{p-p})	
				ボウル	軸	ボウル	軸
210-10	1.5 / 2.2 $\mu\text{m}\phi$ 混合 (= 2 : 1 wt %)	6000	無し	0.136	0.104	1.0	0.21
210-11	0.4 $\mu\text{m}\phi$ 単種			0.145	0.140	3.3	0.14
210-12	1.5 / 2.2 $\mu\text{m}\phi$ 混合 (= 2 : 1 wt %)		ボウル下面より 150mm上に 設置する	0.176	0.103	0.42	0.05
210-13	0.4 $\mu\text{m}\phi$ 単種			0.172	0.142	0.77	0.13
210-14	1.5 / 2.2 $\mu\text{m}\phi$ 混合 (= 2 : 1 wt %)	4000		0.135	0.031	0.42	0.05

主要仕様
 型式：遠心型清澄機
 全尺寸法：全高約2000mm、直径最大約600mm
 全重量：本体：約1200kg、ベース：340kg
 回転数：6000rpm（定格）
 捕集容量：2kg（最大）



① 回転数



② 振動幅

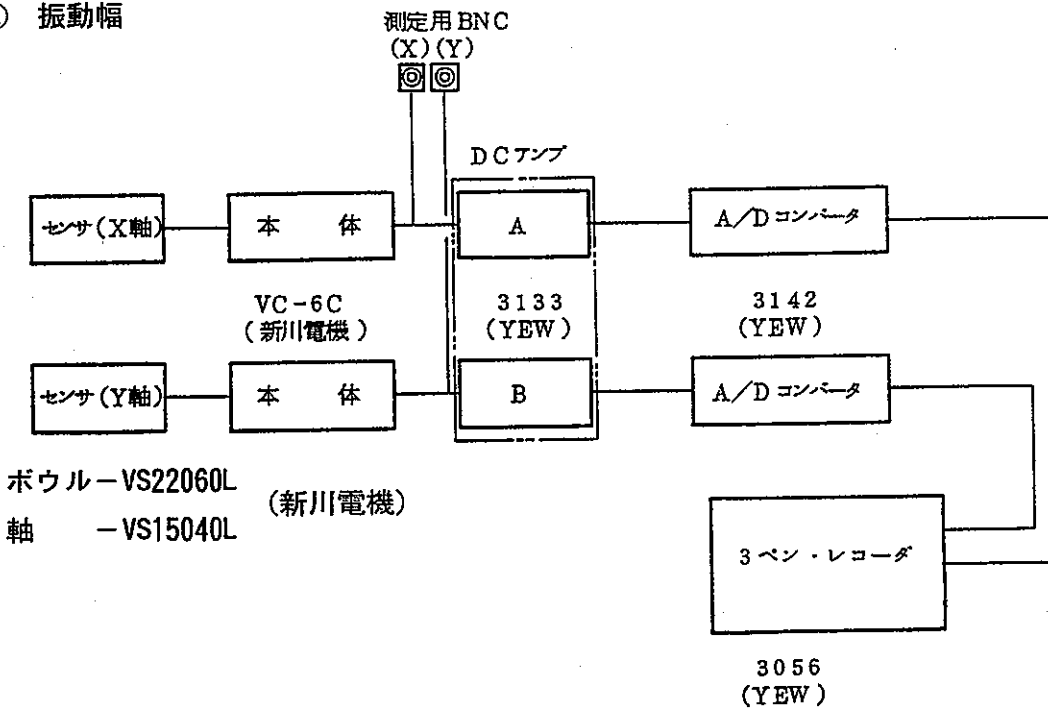
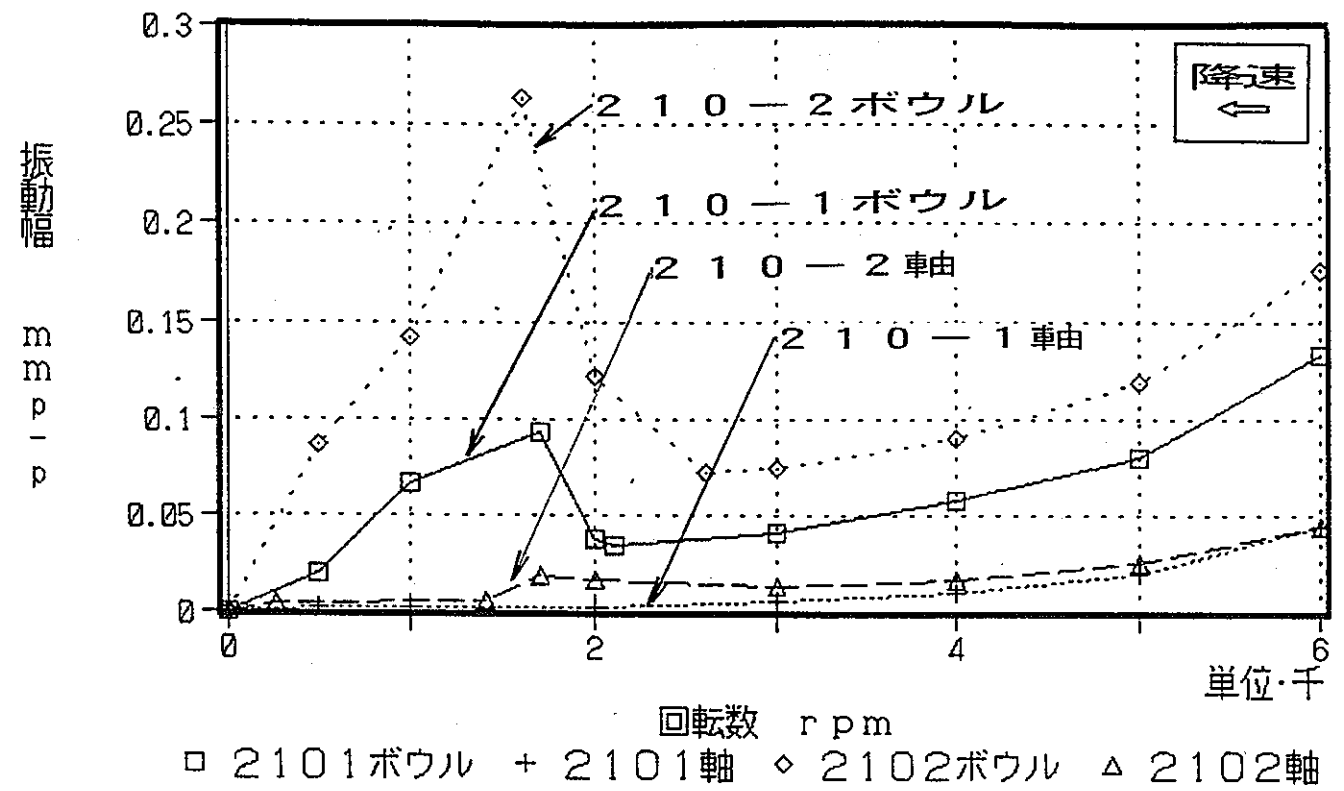


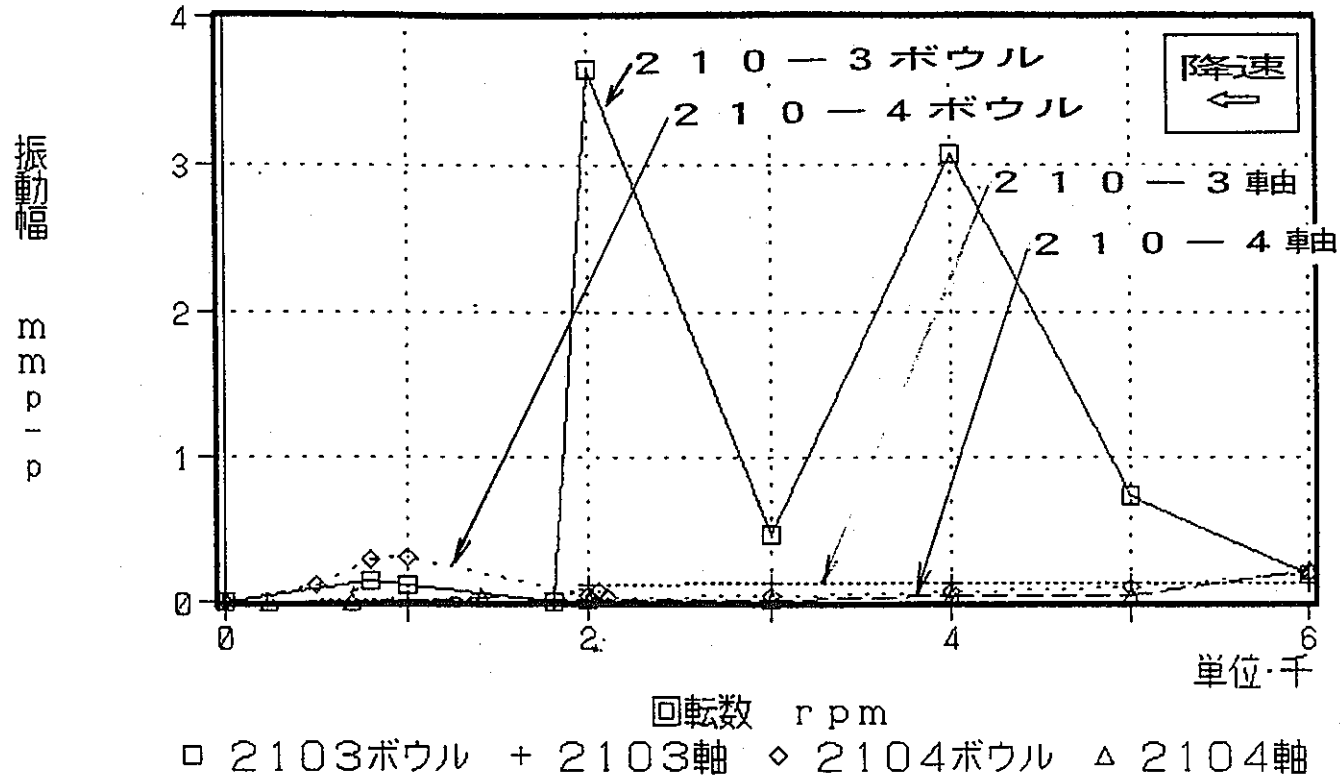
図 3. 2. 1 高性能型(6000rpm型) 遠心清澄モックアップ装置概略図



Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2
210-1	6000	無し	停止
210-2		有り	

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

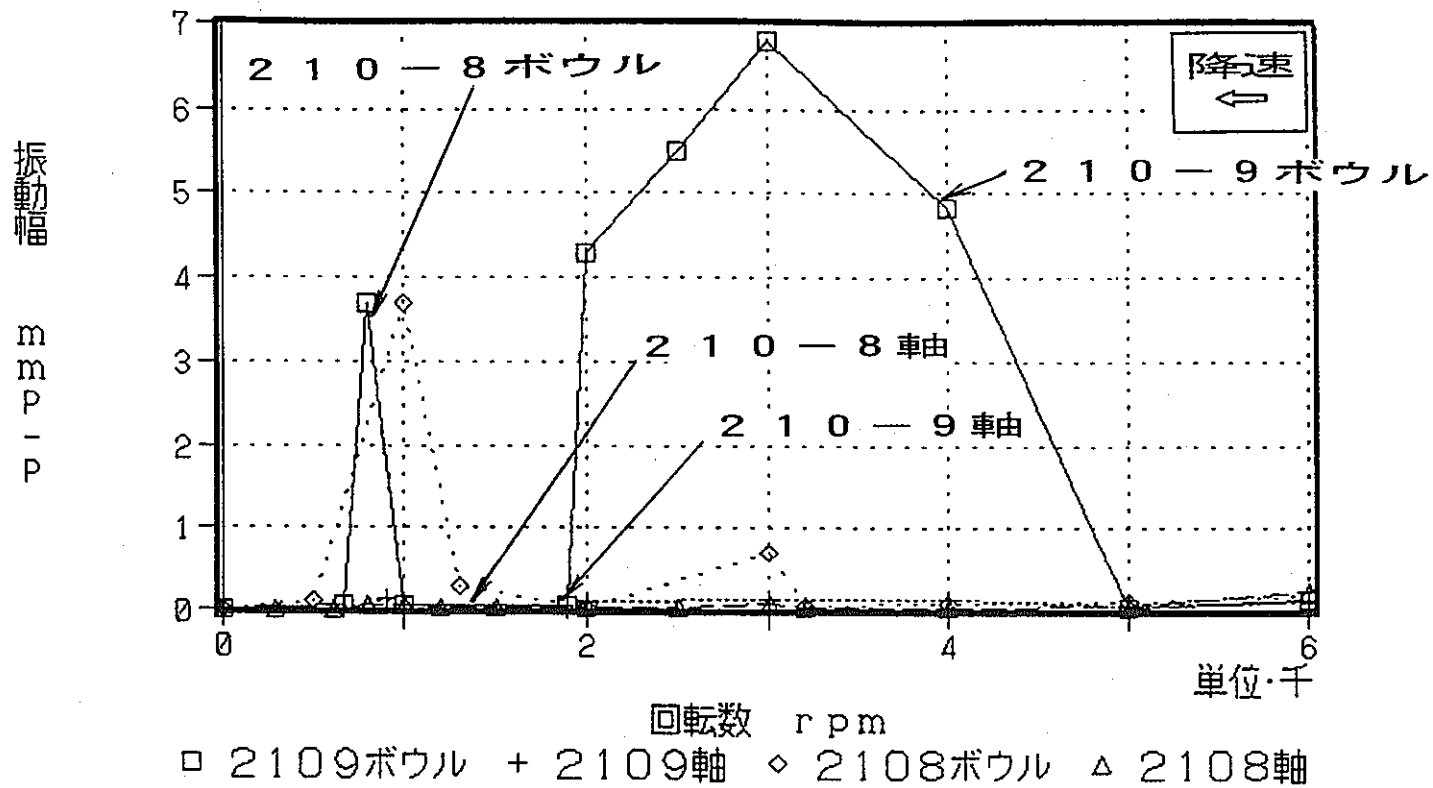
図 3.3.1 降速時のボウル・軸振動幅 (無負荷降速試験)



Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2
210-3	6000	無し	停止
210-4		有り	

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

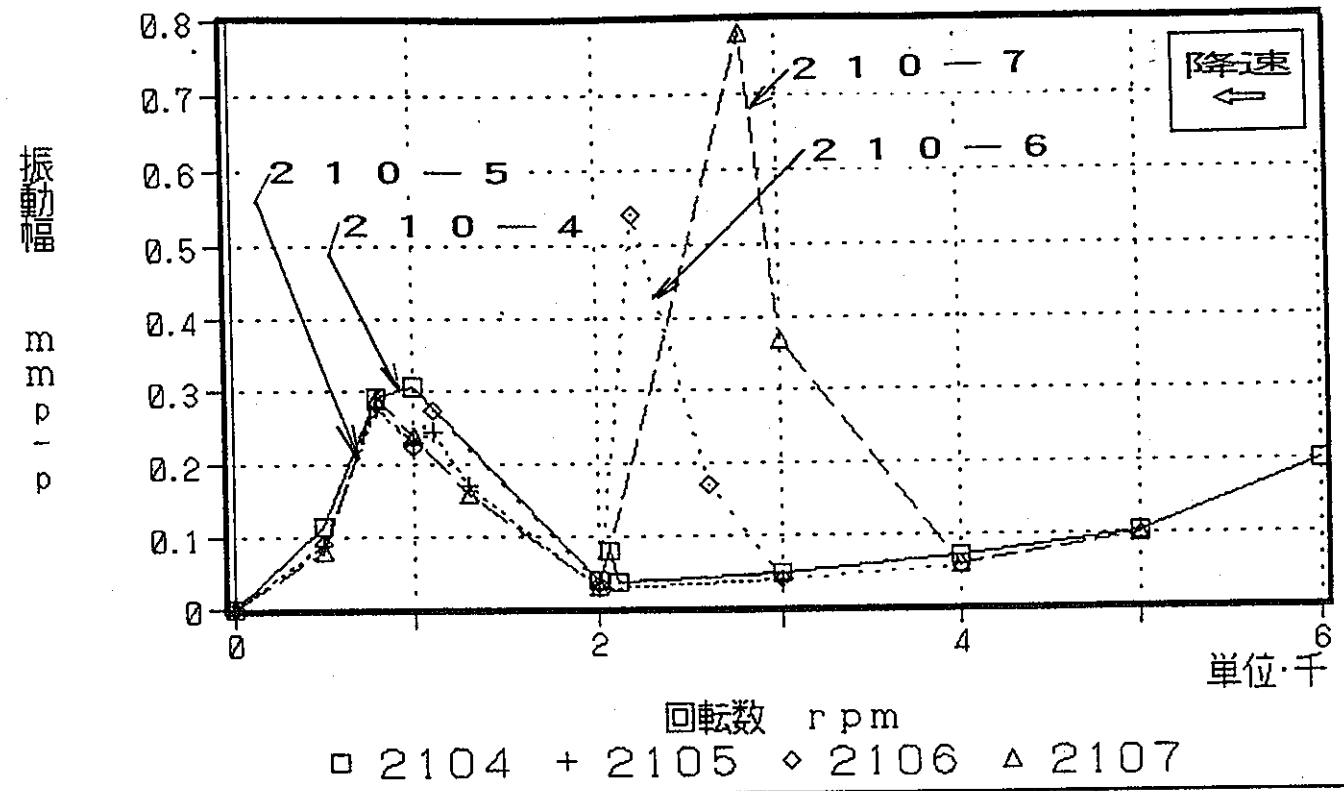
図 3. 3. 2 (1) 降速時のボウル・軸振動幅 (満水ホールド降速試験)



Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2
210-9	6000	無し	続行
210-8		有り	

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

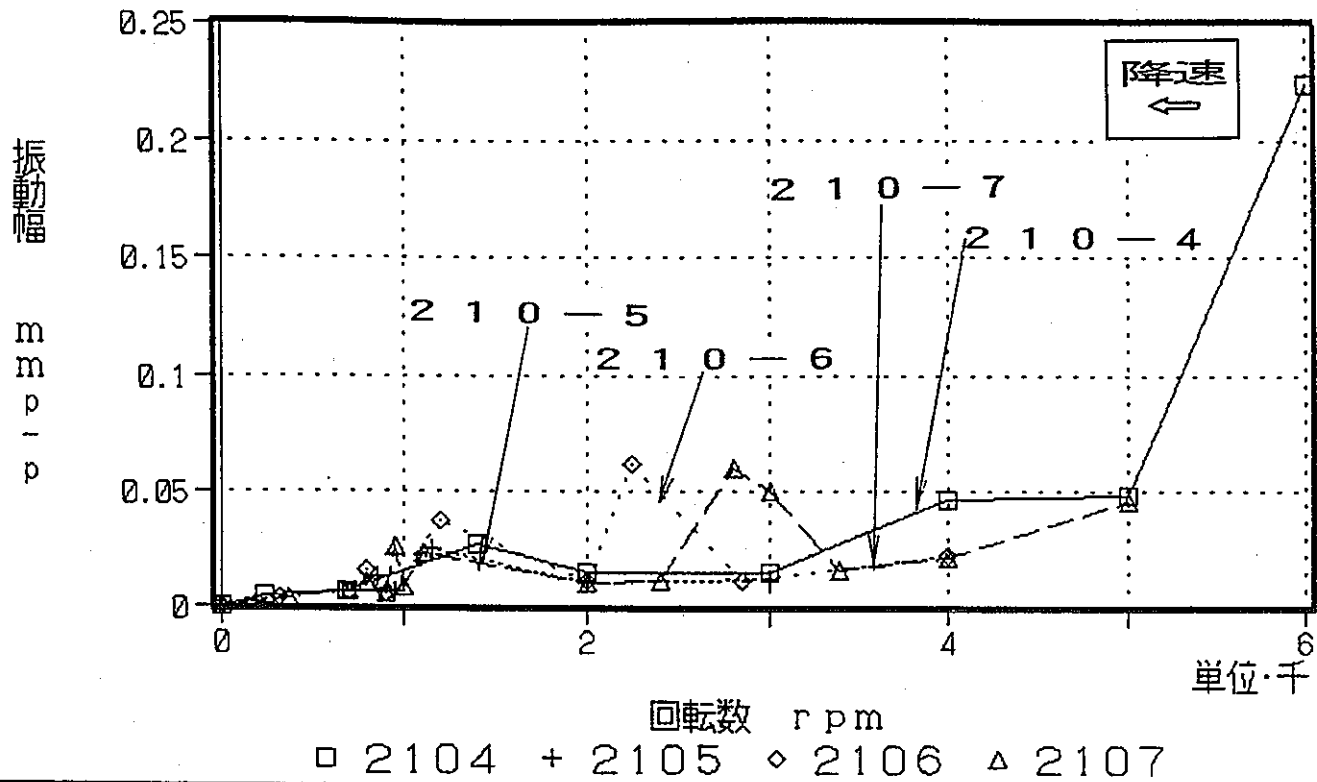
図 3. 3. 2 (2) 降速時のボウル・軸振動幅 (満水ホールド降速試験)



Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態**2
210-4	6000	有り	停止
210-5	3000		
210-6	4000		
210-7	5000		

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 3 (1) 降速時のボウル振動幅 (満水ホールド降速試験)

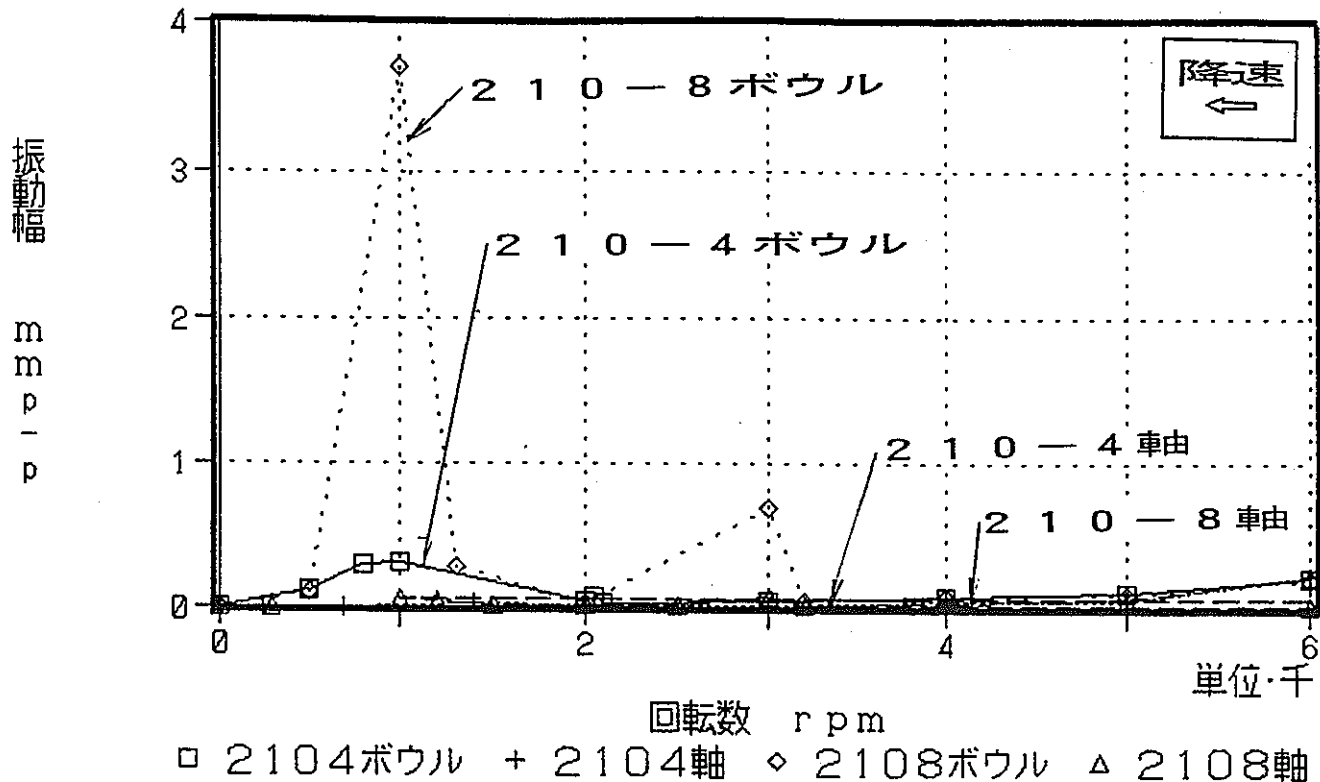


Run No.	定格回転数*1	横バツフル板の有無	降速時の給液状態*2
210-4	6000	有り	停止
210-5	3000		
210-6	4000		
210-7	5000		

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 3 (2) 降速時の軸振動幅 (満水ホールド降速試験)

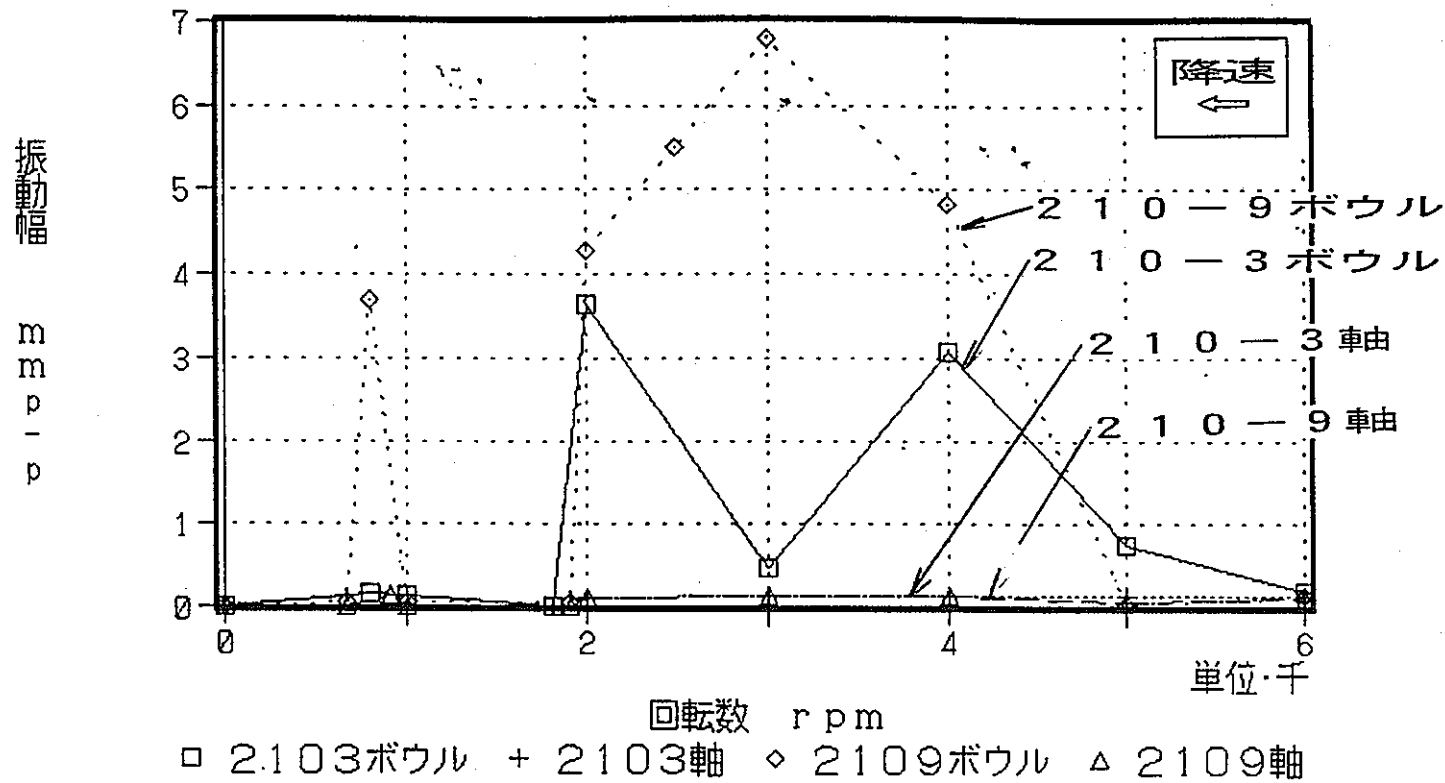


Run No.	定格回転数* ¹	横バップル板の有無	降速時の給液状態* ²
210-4	6000	有り	停止
210-8			続行

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

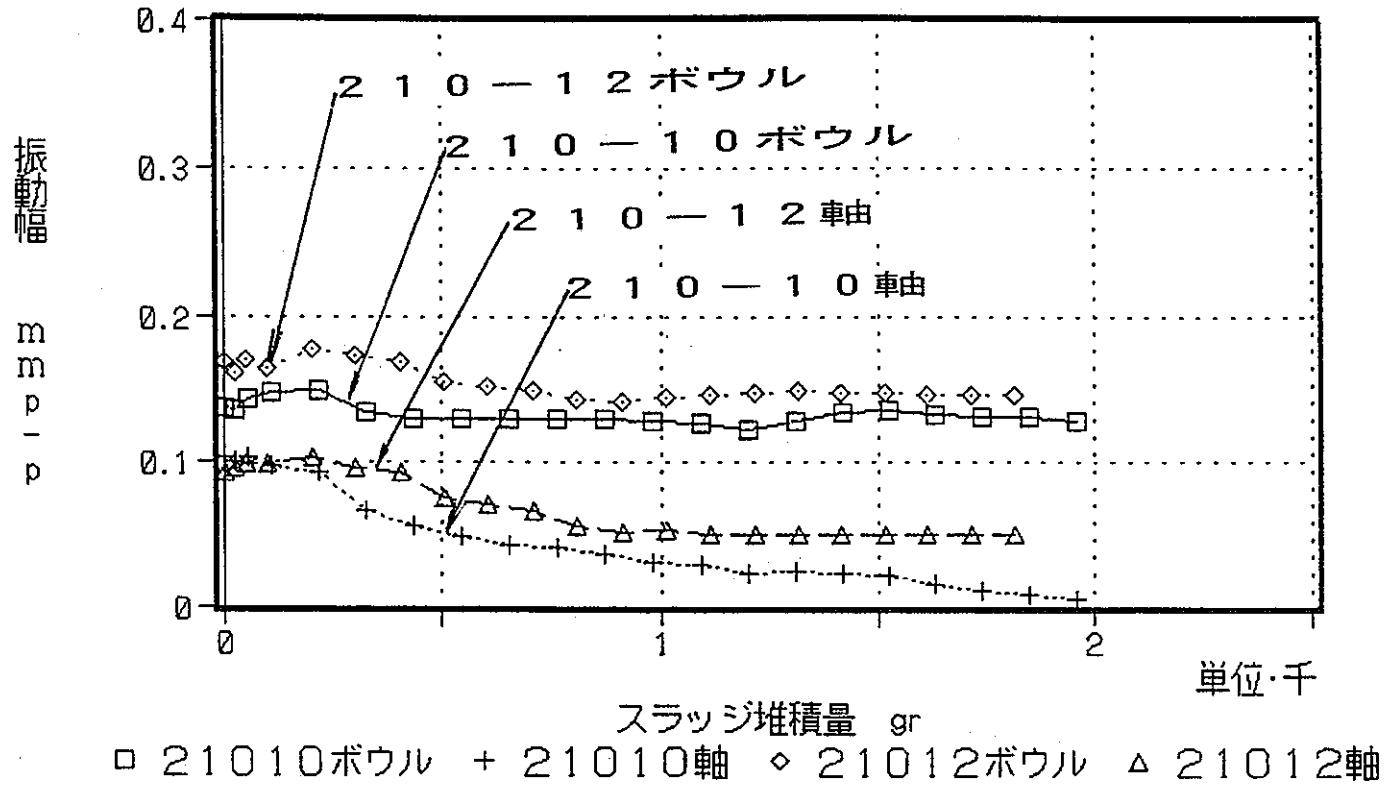
図 3. 3. 4 (1) 降速時のボウル・軸振動幅 (満水ホールド降速試験)



Run No.	定格回転数*1	横バッフル板の有無	降速時の給液状態*2
210-3	6000	無し	停止
210-9			続行

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 4 (2) 降速時のボウル・軸振動幅 (満水ホールド降速試験)

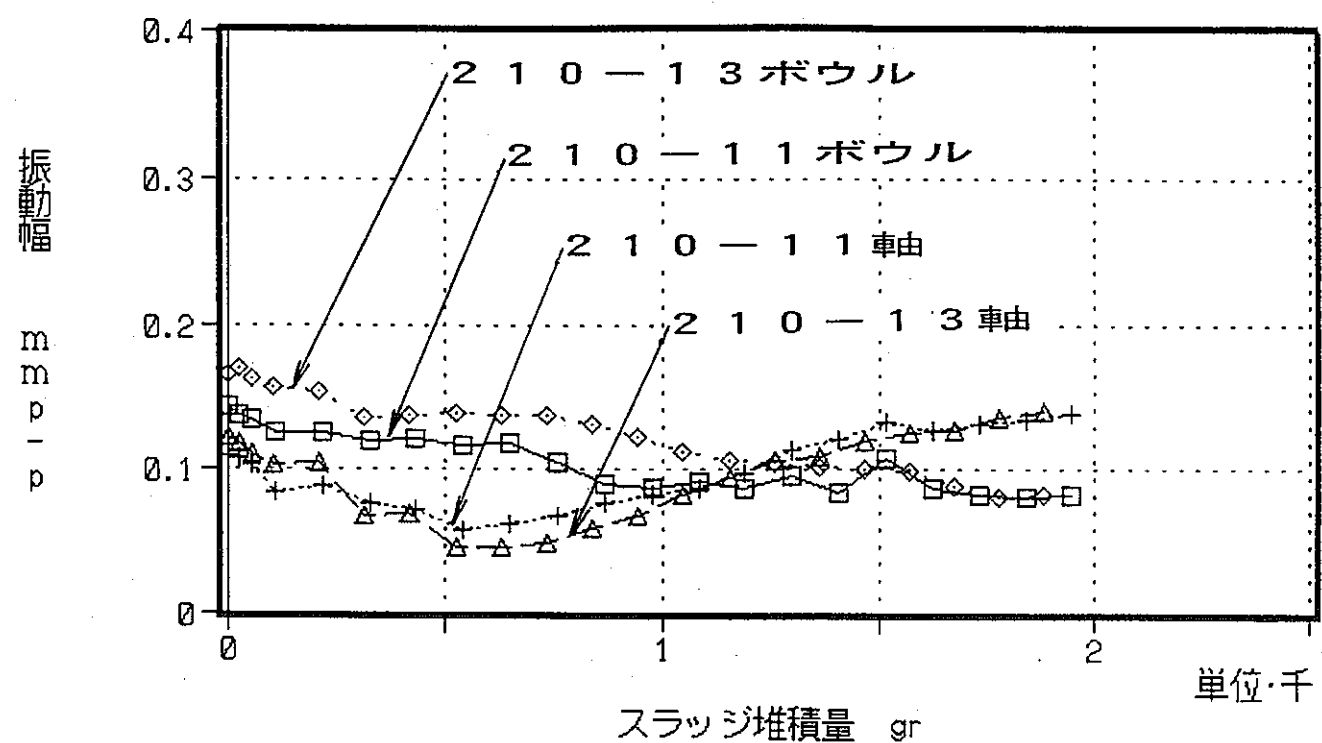


Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-10	6000	無し	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-12		有り		

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 5 (1) 清澄運転時のボウル・軸振動幅 (清澄定格運転試験)

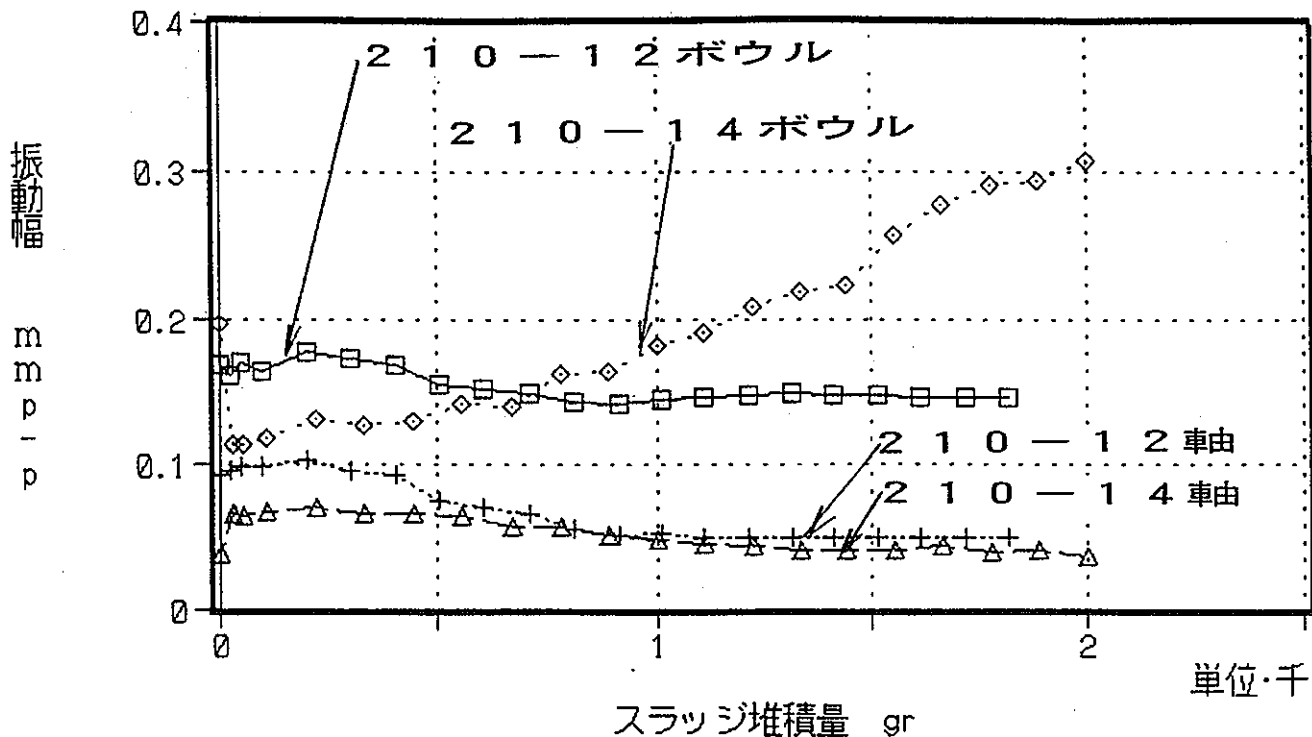


□ 21011ボウル + 21011軸 ◇ 21013ボウル △ 21013軸

Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-11	6000	無し	停止	アルミナ (0.4 μmφ単種)
210-13		有り		

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 5 (2) 清澄運転時のボウル・軸振動幅 (清澄定格運転試験)



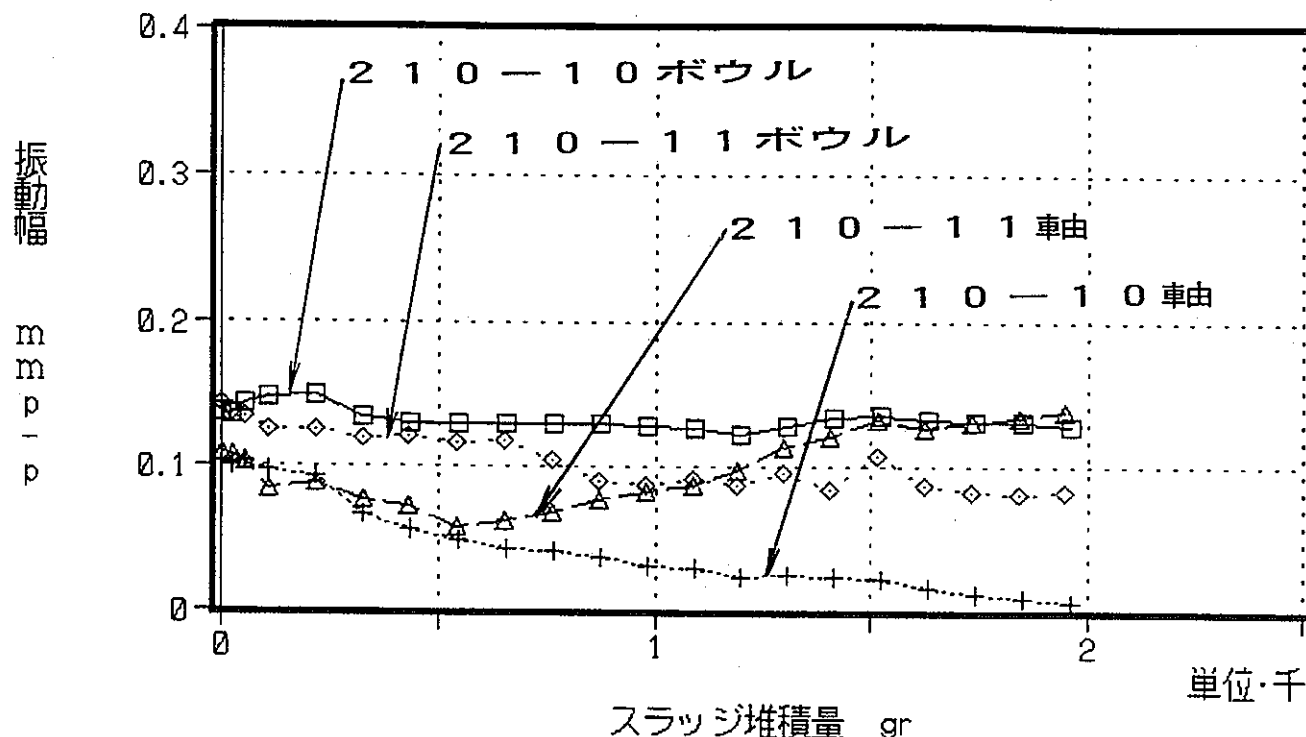
□ 21012ボウル + 21012軸 ◇ 21014ボウル △ 21014軸

Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-12	6000	有り	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-14	4000			

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3.3.6 清澄運転時のボウル・軸振動幅 (清澄定格運転試験)



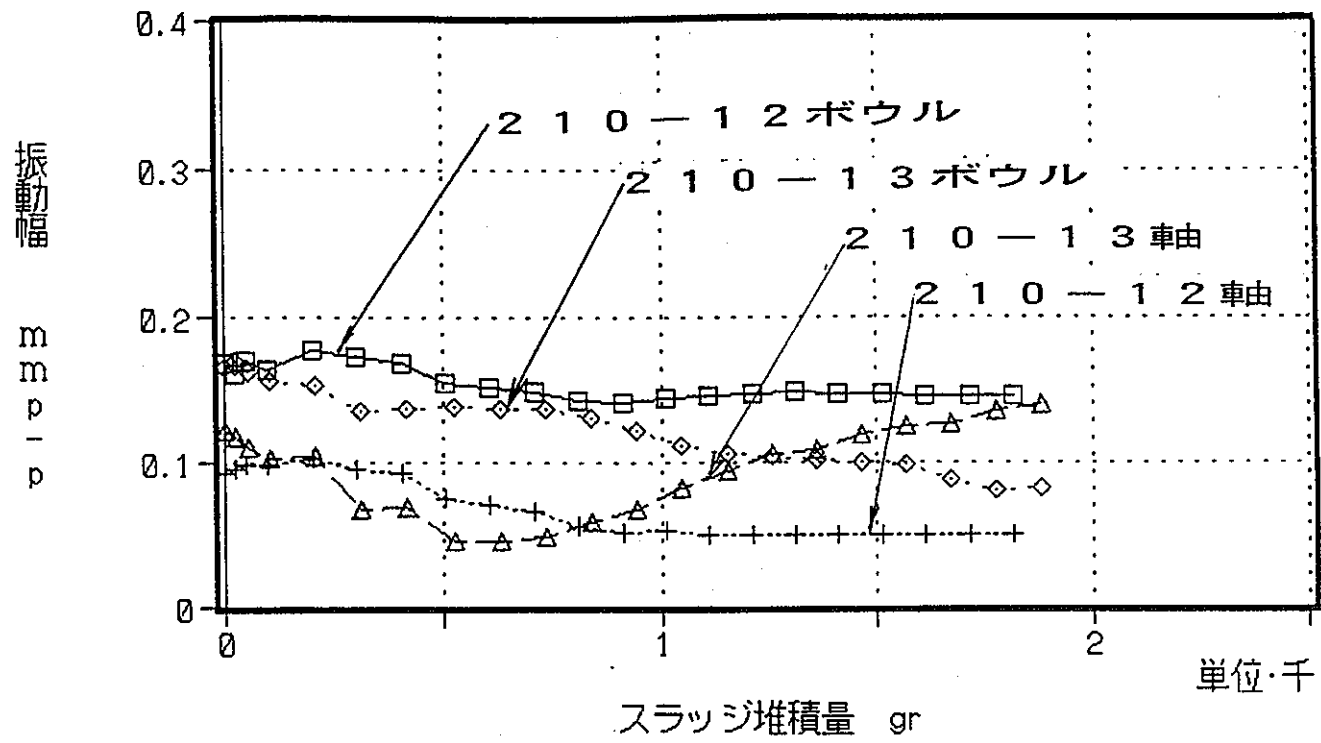
□ 21010ボウル + 21010軸 ◇ 21011ボウル △ 21011軸

Run No.	定格回転数*1	横バツフル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-10	6000	無し	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-11				アルミナ (0.4 μmφ単種)

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 7 (1) 清澄運転時のボウル・軸振動幅 (清澄定格運転試験)

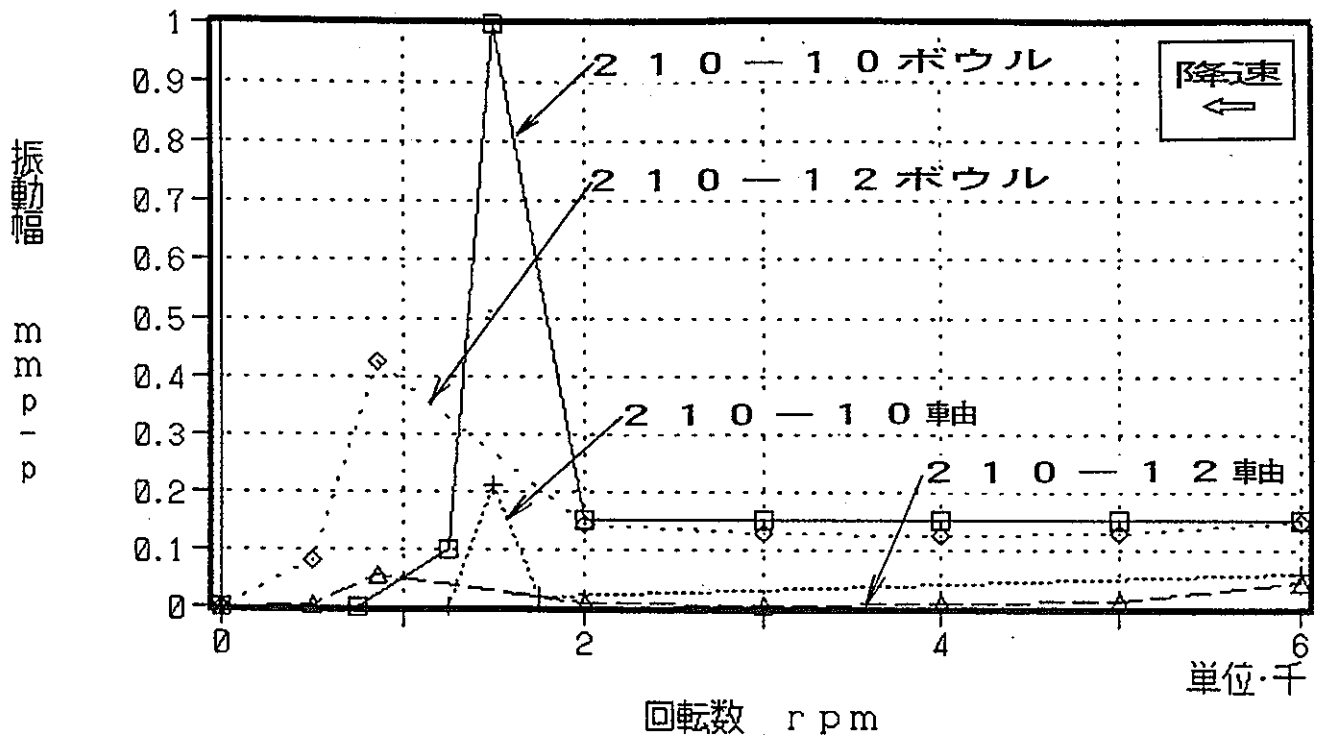


□ 21012ボウル + 21012軸 ◇ 21013ボウル △ 21013軸

Run No.	定格回転数*1	横バツフル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-12	6000	有り	停止	アルミナ (1.5 / 2.2 μmφ混合)
210-13				アルミナ (0.4 μmφ単種)

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 7 (2) 清澄運転時のボウル・軸振動幅 (清澄定格運転試験)



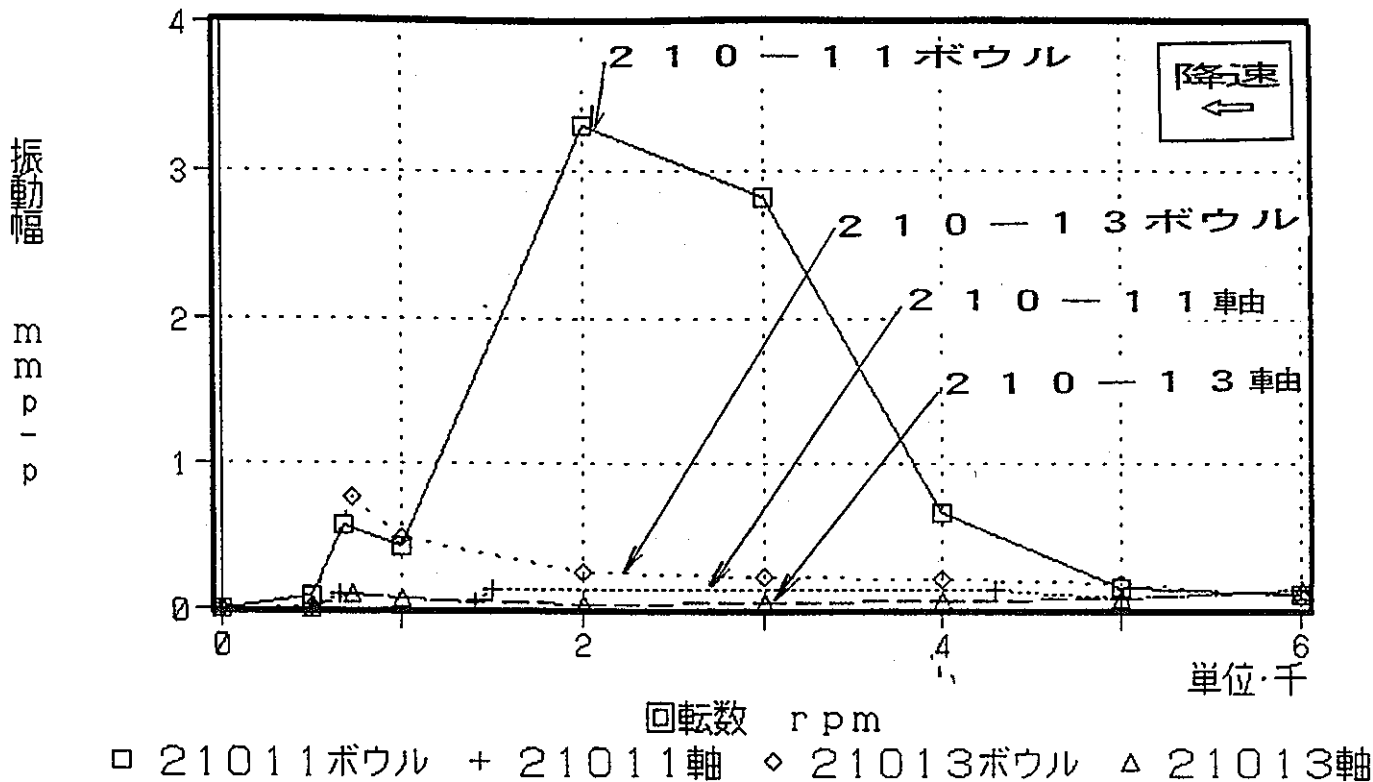
□ 21010ボウル + 21010軸 ◇ 21012ボウル △ 21012軸

Run No.	定格回転数* ¹	横バフ板の有無	降速時の給液状態* ²	模擬液粒径
210-10	6000	無し	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-12		有り		

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない

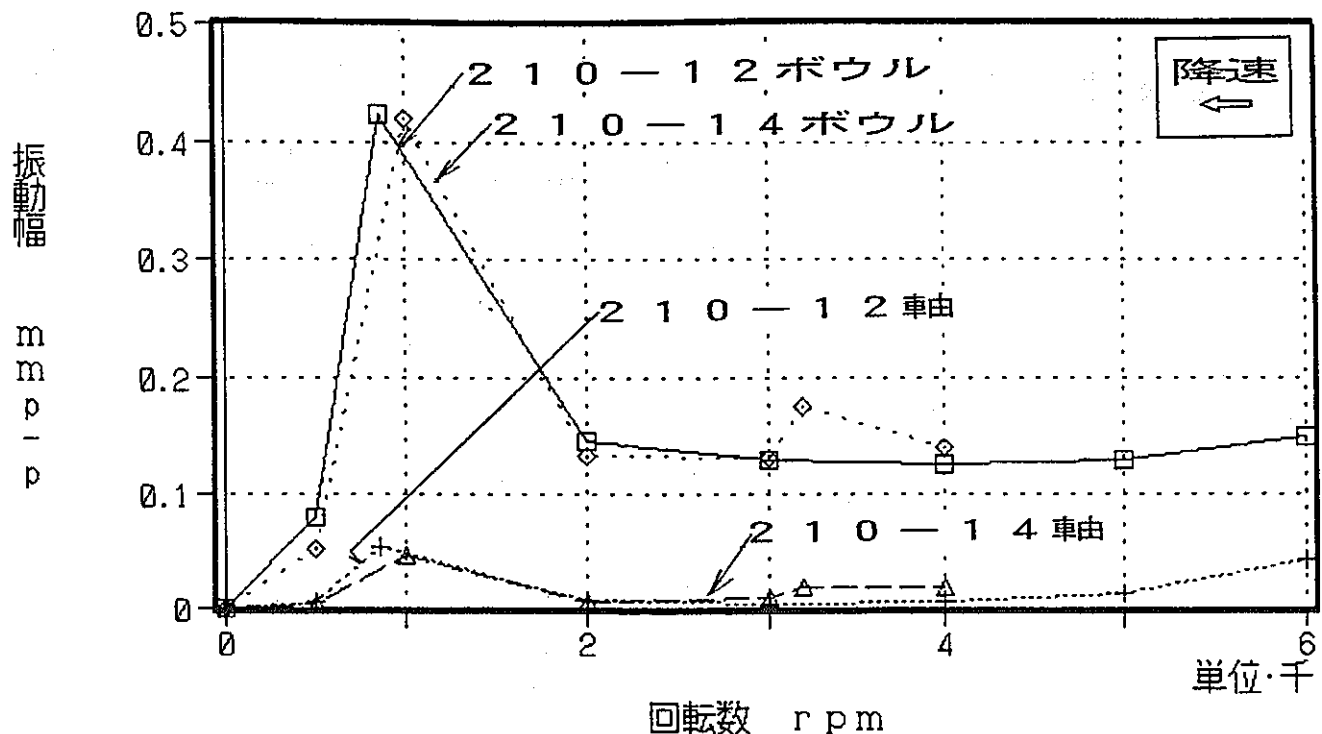
*2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3. 3. 8 (1) 降速時のボウル・軸振動幅 (清澄降速試験)



*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3.3.8 (2) 降速時のボウル・軸振動幅 (清澄降速試験)

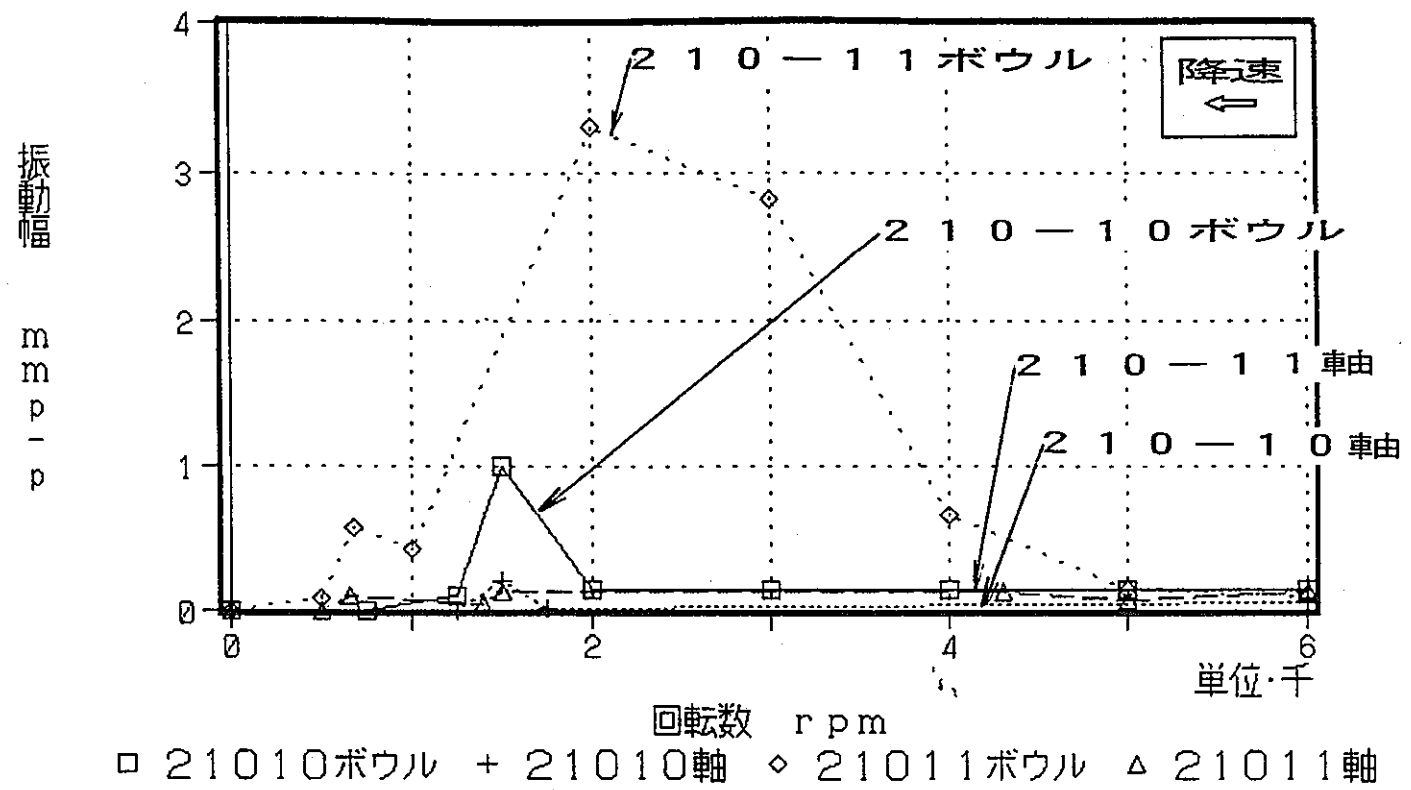


□ 21012ボウル + 21012軸 ◇ 21014ボウル △ 21014軸

Run No.	定格回転数*1	横バツフル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-12	6000	有り	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-14	4000			

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

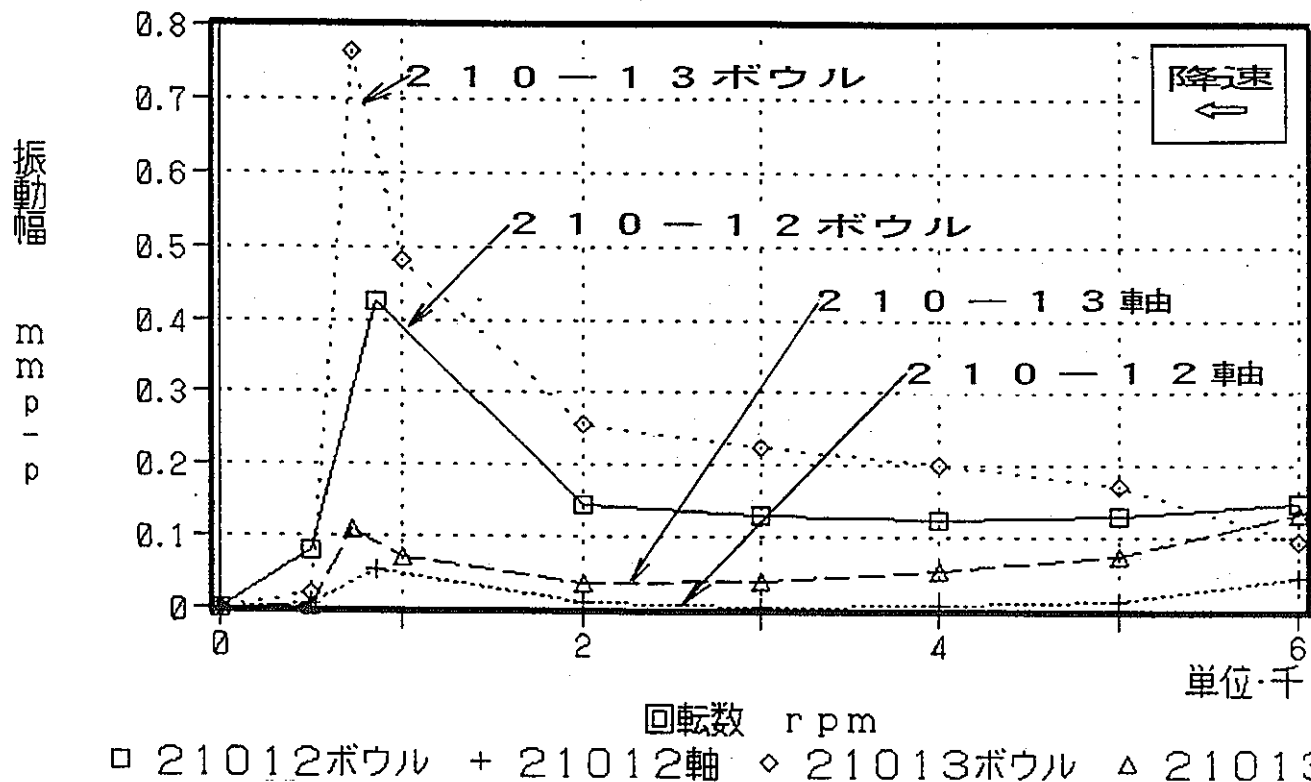
図 3.3.9 降速時のボウル・軸振動幅 (清澄降速試験)



Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-10	6000	無し	停止	アルミナ (1.5 / 2.2 μmφ 混合)
210-11				アルミナ (0.4 μmφ 単種)

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

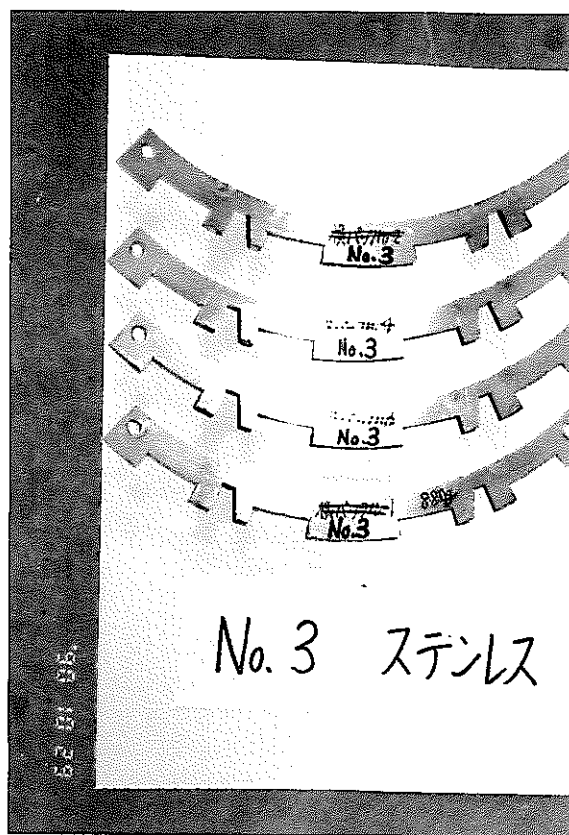
図 3.3.10(1) 降速時のボウル・軸振動幅 (清澄降速試験)



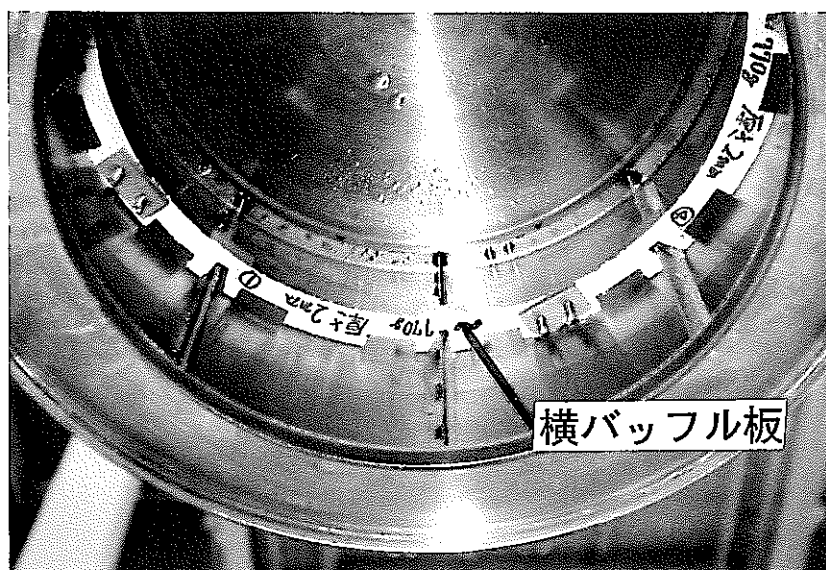
Run No.	定格回転数*1	横バップル板の有無	降速時の給液状態*2	模擬液粒径
210-12	6000	有り	停止	アルミナ (1.5/2.2 μmφ混合)
210-13				アルミナ (0.4 μmφ単種)

*1 回転数を一定とした運転時の回転数であり、降速時には直接関係しない
 *2 給液を停止した状態で降速するか、続行した状態で降速するかを示す

図 3.3.10(2) 降速時のボウル・軸振動幅 (清澄降速試験)



横バッフル板形状



横バッフル板取付状態

写真 3. 1. 1 横バッフル板の形状
および取り付け状態