

M-16

温度勾配および定在音波のある場での泡の挙動

航空宇宙技術研究所

東 久雄
吉原正一
大西 充
荻原袈千男

要旨

泡の挙動に関する実験を三つの容器を用いて行った。そのうち温度勾配下での気泡の挙動に関して、多くのデータが得られた。気泡の振る舞いはまだ理解出来ないところが多い。この中間報告では、気泡の動きを時系列に整理し、解析の第一ステップとしていくつかの気泡についてその移動速度とマランゴニ数との関係を求めた。顕著な特徴は、注射針からでた気泡が容器の中心部に向かって移動すること、高温壁の近くにきた気泡が急に速い速度で移動すること、泡と泡の干渉が激しいことである。これらの気泡の動きを今後解析していく予定である。

はじめに

無重力状態において、液体中にある気泡は地上とは異なった挙動を示すはずである。何の力も働かなければ、気泡は現在ある処から動かない。気泡を移動させる力にはさまざまなものがあるが、殆どは重力の中に埋もれてしまっている程、小さい力である。その中で最も重要な一つである温度勾配と、気泡の積極的移動のために有力である定在音波のある場での泡の挙動について調べた。

温度勾配は宇宙におけるマテリアルプロセッシングを行う場合必ず存在するものであり、この場での泡、液滴の挙動を知ることは極めて重要である。例えば粒子分散系の合金の微小重力環境下でのプロセッシングにおいて温度勾配によると思われる粒子の移動、凝集が起こっていることがしばしば見られる。この原因の主要な一つが温度による表面張力変化いわゆるマランゴニ力に起因する粒子、液滴の移動である。

本実験ではこのマランゴニ力による泡、液滴の移動速度を様々な条件の下に求める。従来マランゴニ数が1より大きい場合においては解析でも、実験でも速度は明確に得られていないので、特にこの点を狙っている。また粒子は単独でなく集団で移動するので粒子どうしの干渉（熱的および流体的）が重要である。この力も無重力でははっきりと現れる。多体となると解析が困難なので、二体問題となるように計画したが、実際は多くの泡が注入され、移動した。

音波は簡便な泡の移動法であり、無重力で実験を行なうことにより、その有効性を示すとともに、移動速度、泡の集団的振る舞いのデータを得ることができる。しかし容器を振ることにより、微細な泡を作ることができなかった。

実験方法

三つのシリコンオイルを満たした円筒状実験セル（a, b, c）を用意した。その外観を図1、図2に示す。予定した

a, b, cの予定した実験過程を図3に示す。

a, bにおいては注射針を用いて空気の泡、および水滴を入れヒータ、クーラで徐じよにシリコンオイル内に温度勾配をつけ、泡の移動をビデオカメラで記録する。

cにおいては、注射針で注入した気泡を宇宙飛行士に振ってもらうことにより、微細な泡を多数作り、音波を容器内に駆ける。容器内に定在音波を作るために、周波数をゆっくりとスイープする。泡の動きをビデオで観察する。

実験結果

まず実験結果をまとめると

a : 良好な結果が得られた。

b : 水滴がスリット光からずれたため、シリコンオイルと区別がつかず解析が出来ない。

c : 微細な泡が多数出来なかったため、初期の目的は達成できなかった。

以下実験 a の結果について述べる。a は正規のスケジュールでと延長スケジュールでの二回行なわれた。

実験 a (1 回目) :

・ 起こった注目すべき事象 (時系列、図表 4 参照)

- 1) 注射針から大きい泡が出ずに小さい泡が多数出てきた。
- 2) 泡を注入する速度を早めると大きい泡ができた。(毛利宇宙飛行士談)
- 3) 注入された泡は容器の中心部へゆっくりと移動した。
- 4) 温度勾配をかけると一つの大きい泡が高温側に移動を始めるが、他の大きい泡を押し退けて移動する。押し退けられた泡は高温側に移動せず、横に押し出される。
- 5) 大きい泡は急速に加速され高温側の壁に付く。付いた瞬間他の泡は反対側以力を受ける。
- 6) 他の大きい泡が壁に付いた泡の上に動く。
- 7) 小さい気泡が次々に上の大きい気泡の上に寄ってきて、合体する。
- 8) 上の大きな気泡が下の気泡から離れ、またくっつく。
- 9) 団子状の泡が中心軸を右に回転し、また左に回転して戻る。
- 10) 大きい二つの気泡は左に回転し、高温壁および側壁に付く。

得られたマランゴニ数と泡の速度との関係

実験 a) の 1、2 回のデータからいくつかの代表的な泡の速度を出し、マランゴニ数との関係を出した (図 5)。マランゴニ数がかなり大きくなるまで気泡の速度は速くならず、突然壁の近くで速くなる。これは気泡になんらかの力が働いていることを示している。

考察

以下のことについて今後考察を進めていく。

a の実験

- イ) 注射針から出る泡が小さく分かれること
- ロ) 注射針から出た泡が容器の中心部へ移動すること
- ハ) 泡の速度について
- ニ) 泡と泡との干渉
- ホ) 泡群が回転すること

c の実験

- ヘ) 容器を振ることにより微細な泡が出来なかったことについて

結論

三つの実験のうち一つについてたくさんのデータがえられた。そのデータを現在解析中であるが、容器内に注入された気泡に何らかの力が働き、解析を複雑にしている。注入時気泡に電荷が発生したとの説が有力であるが、まだ確証は得られていない。また気泡が多数入ったため、お互いの干渉が複雑となり、解析を一層複雑にしている。同時に壁の影響も考慮に入れる必要がある。今後これらを考慮しつつ解析をすすめる。

**FLUID PHYSICS EXPERIMENT FACILITY
BUBBLE BEHAVIOUR EXPERIMENT
UNIT**
(TEMPERATURE GRADIENT EXPERIMENT CELL)

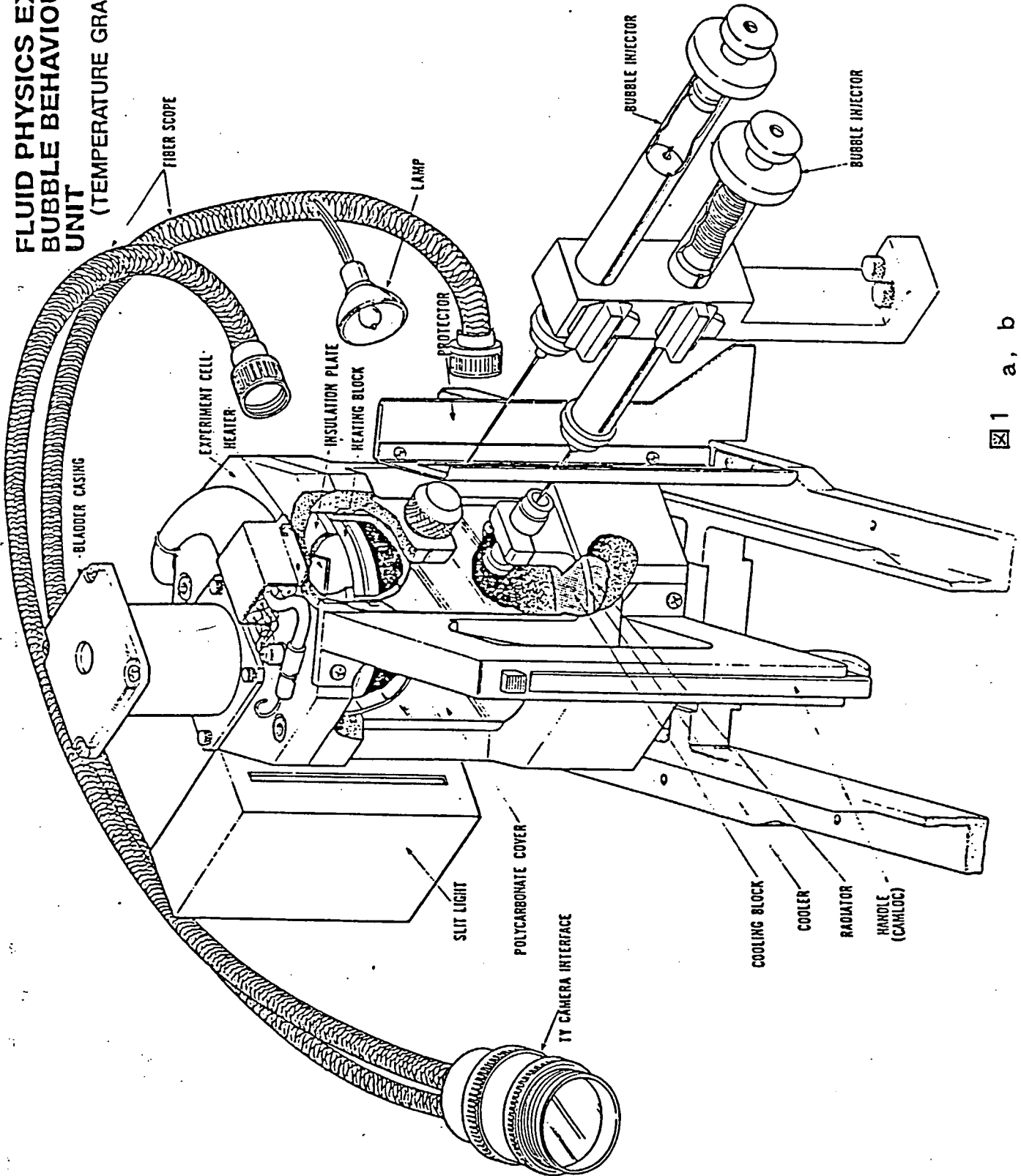
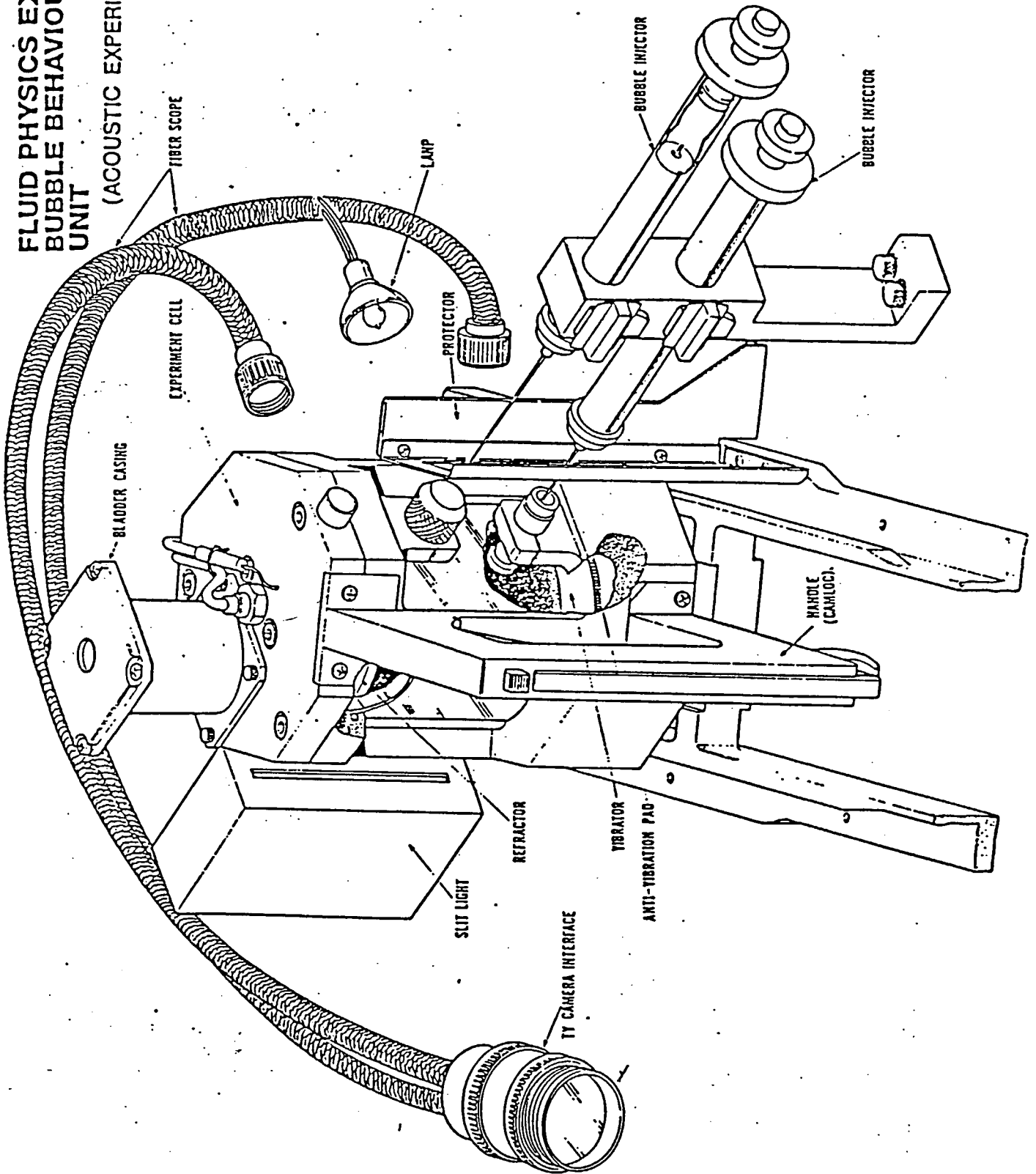


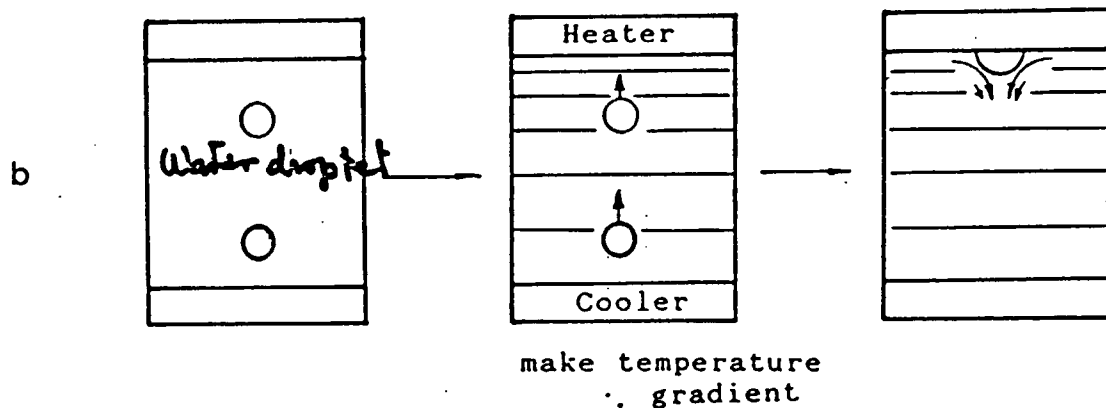
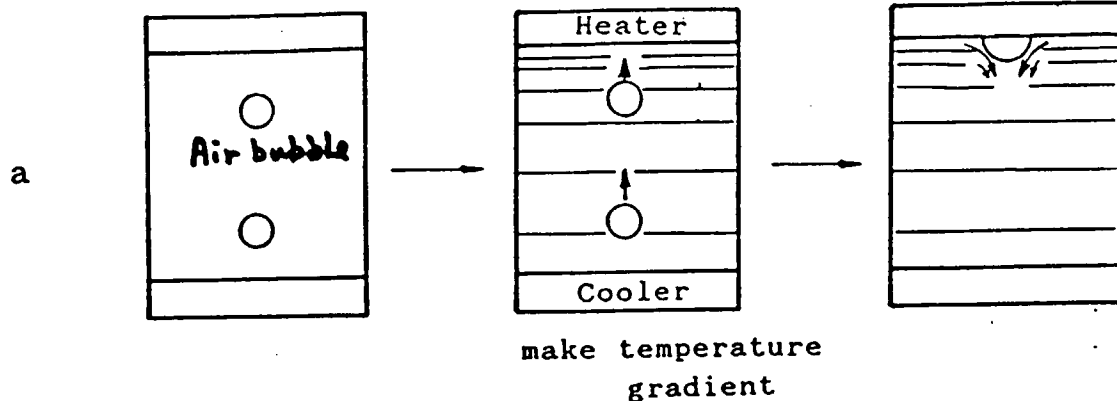
Fig 1 a, b

FLUID PHYSICS EXPERIMENT FACILITY
 BUBBLE BEHAVIOUR EXPERIMENT
 UNIT

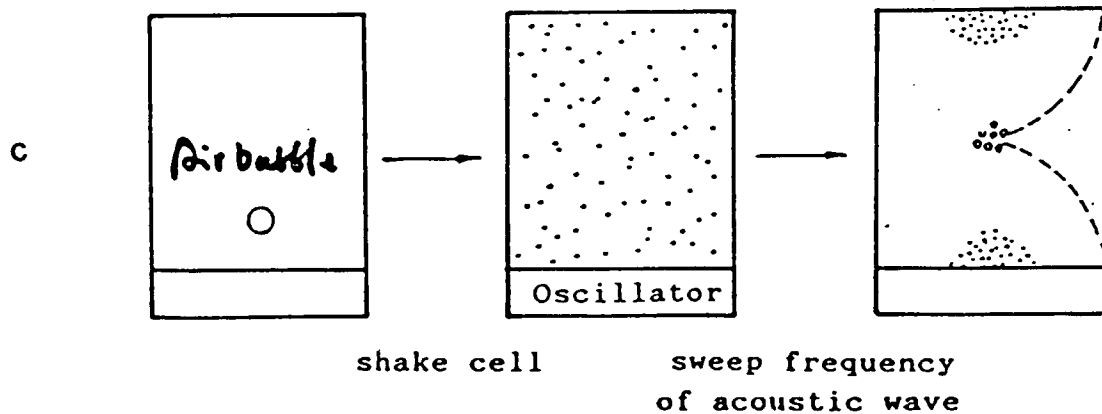
(ACOUSTIC EXPERIMENT CELL)



THERMAL GRADIENT

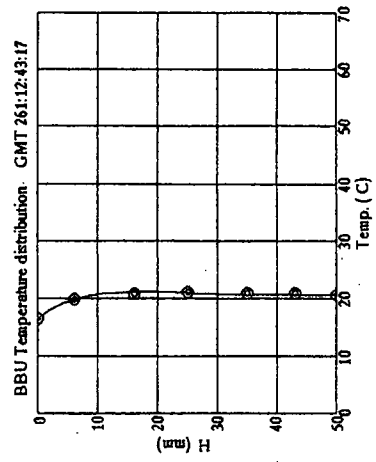
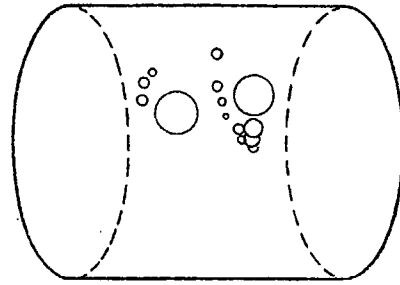
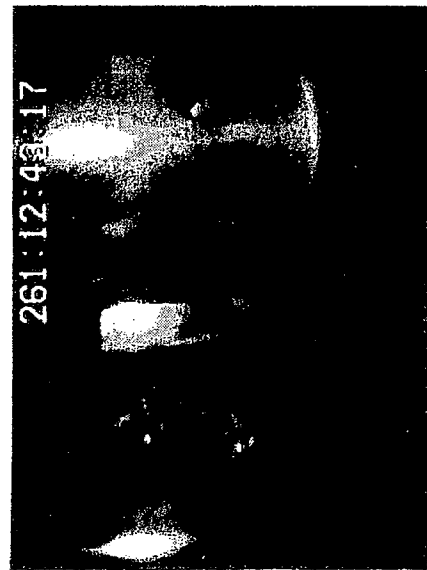
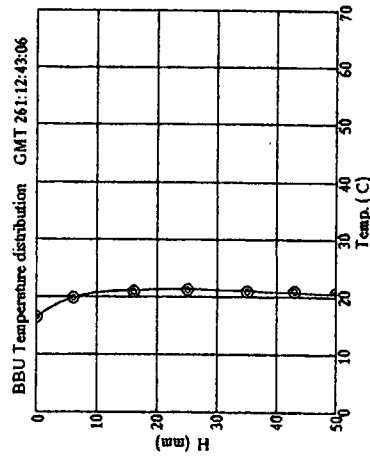
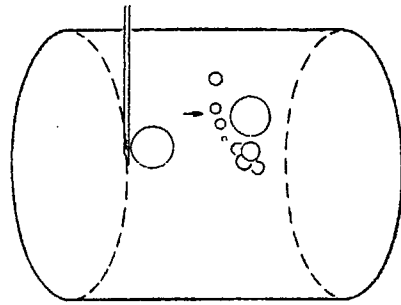
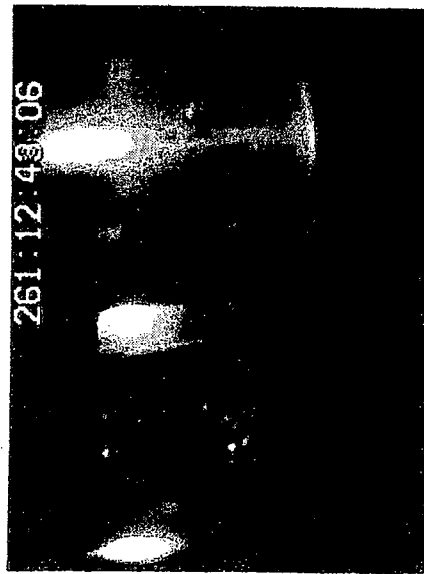


STATIONARY ACOUSTIC WAVE



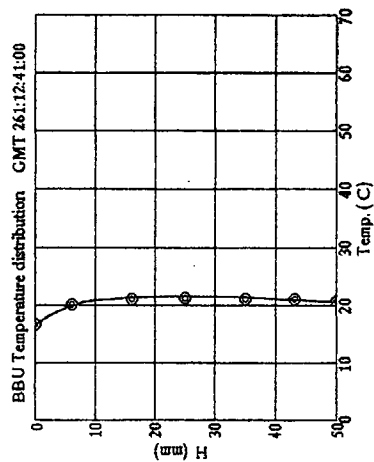
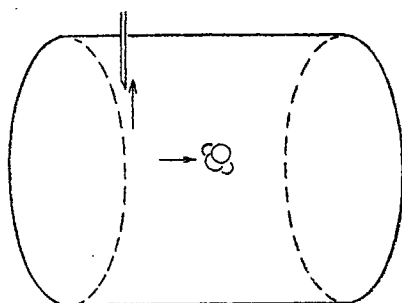
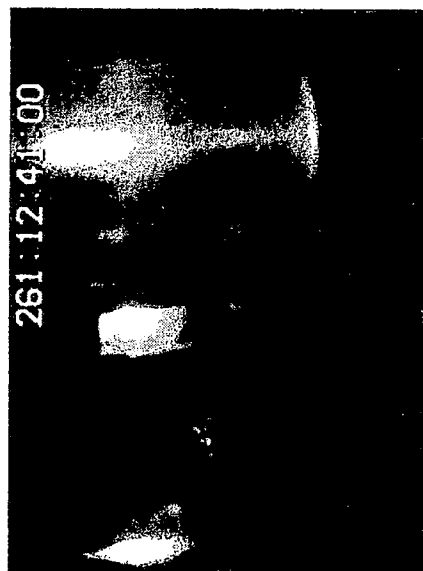
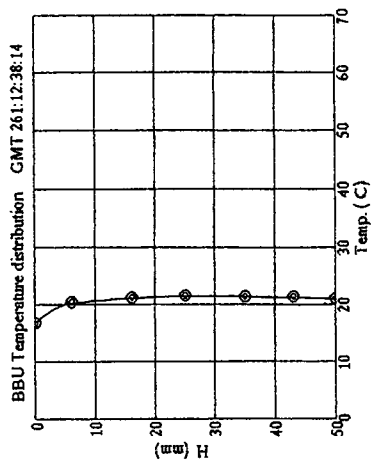
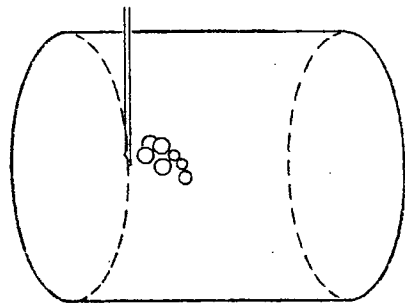
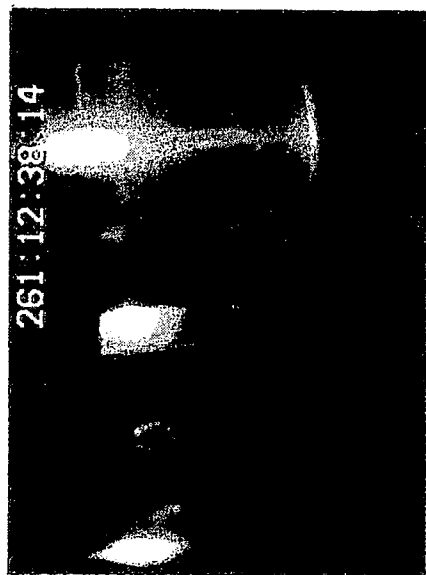
GMT 261:12:43:06 ~

他の気泡（大1、小3）が注入され、セル中心方向へ移動する



GMT 261:12:38:14 ~

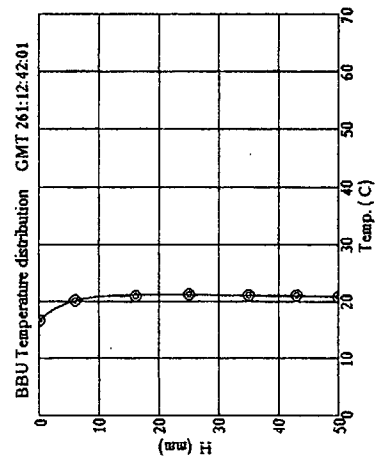
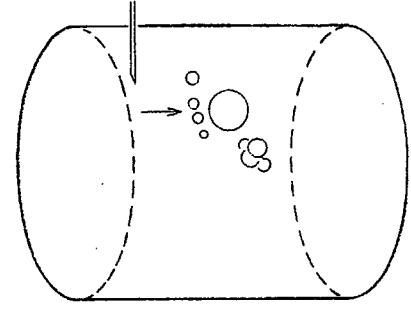
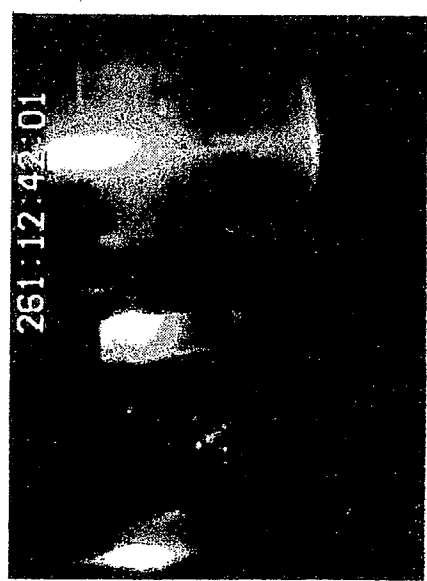
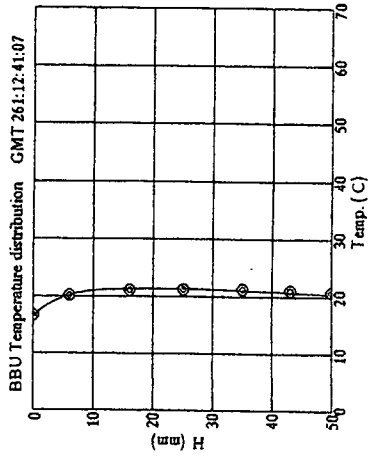
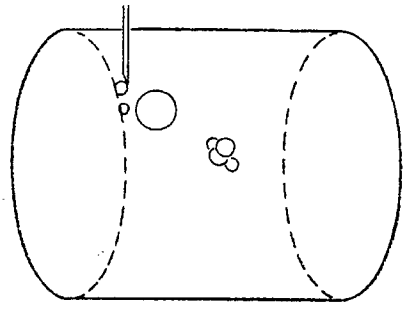
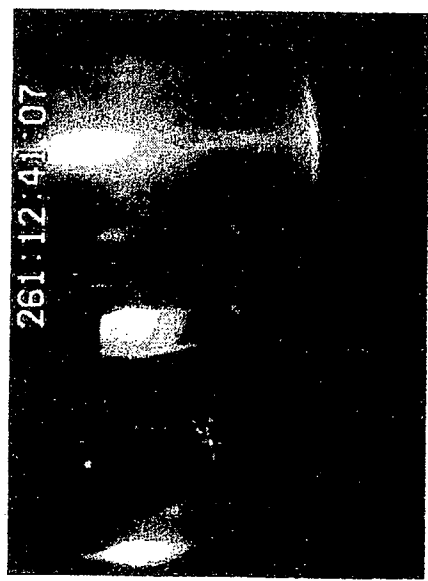
ぶどう状気泡（9個？）が下（画面で）の高温側に移動する。



図表 4. 実験 a で起きた注目のすべき事象

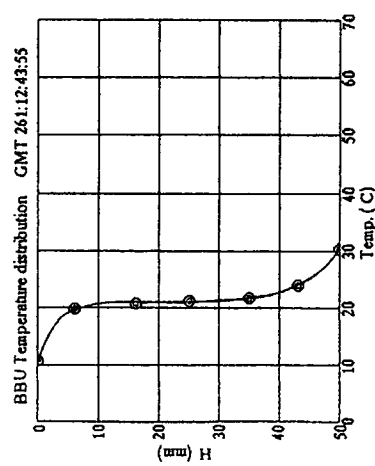
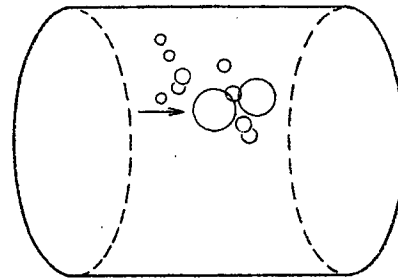
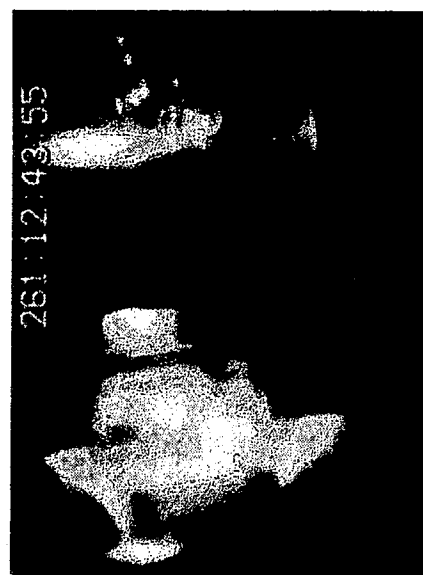
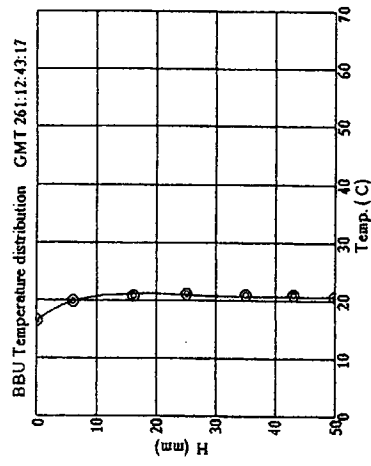
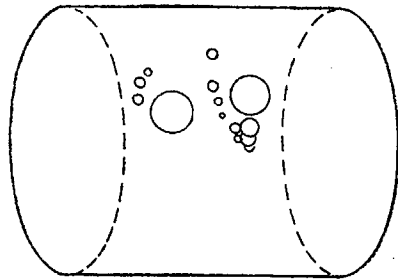
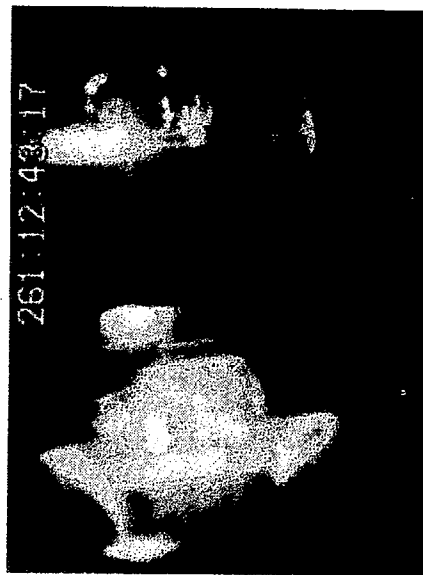
GMT 261:12:41:07 ~

大きい気泡（大、小）が注入され、セル中心に移動する。



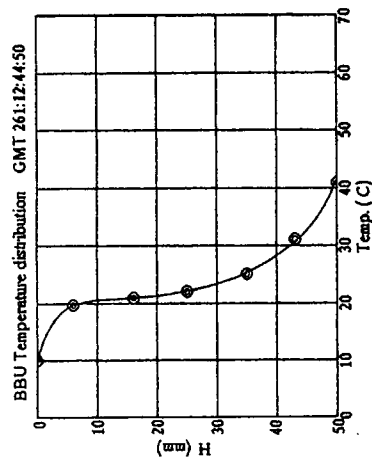
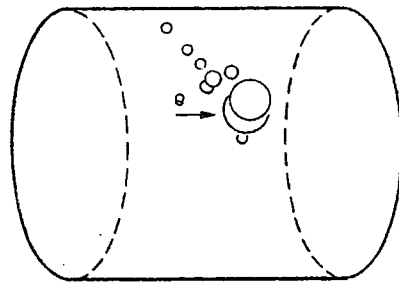
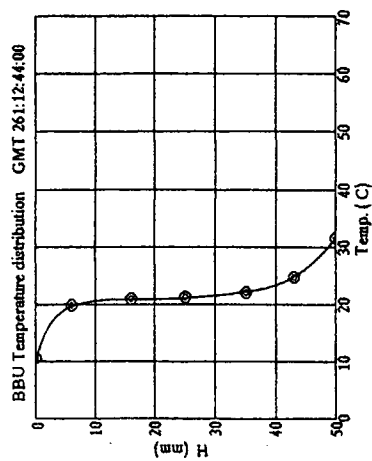
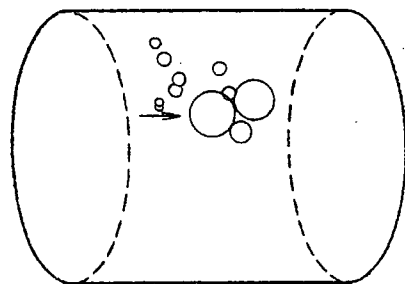
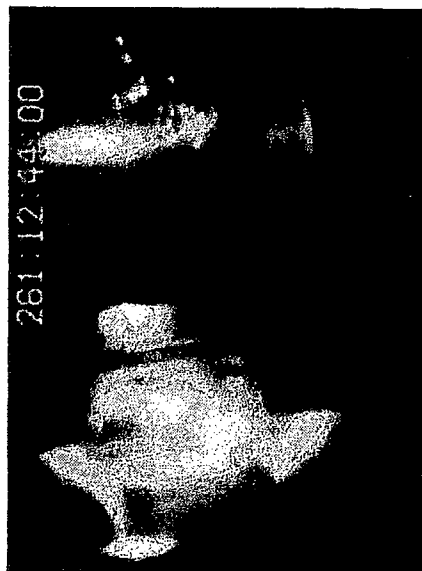
GMT 261:12:43:17 ~

右上の小さな気泡も中心に集る



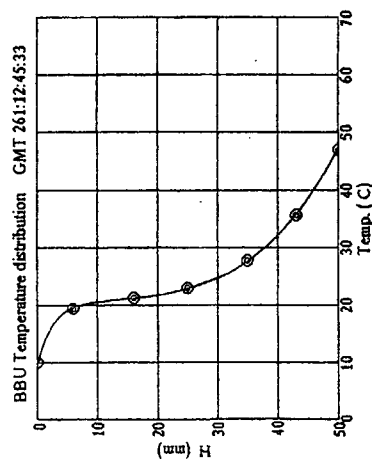
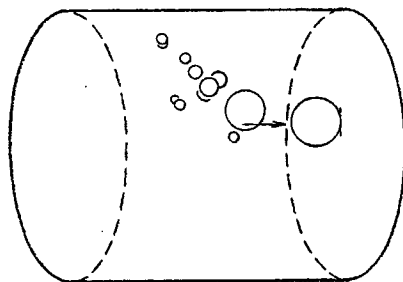
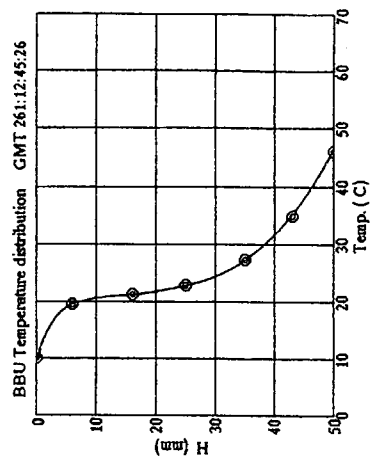
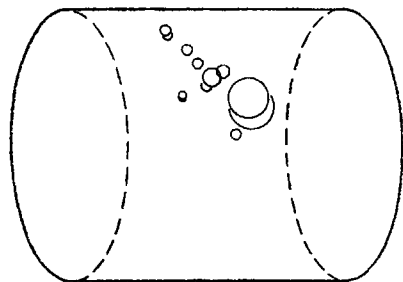
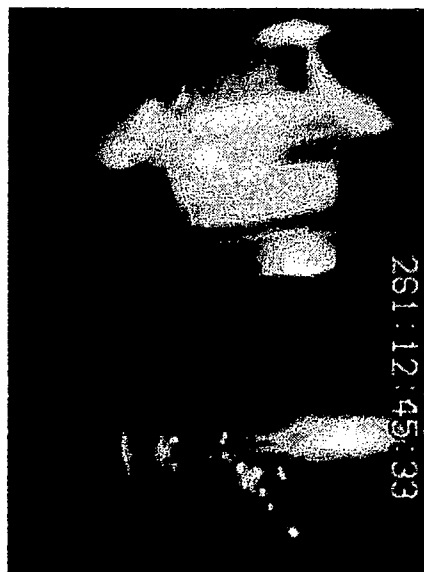
GMT 261:12:44:00 ~

下の気泡は上からの気泡により、下に下がるのではなく、横に押出される。



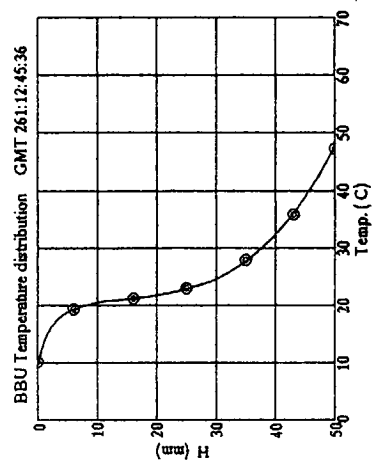
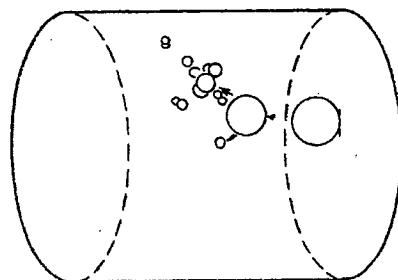
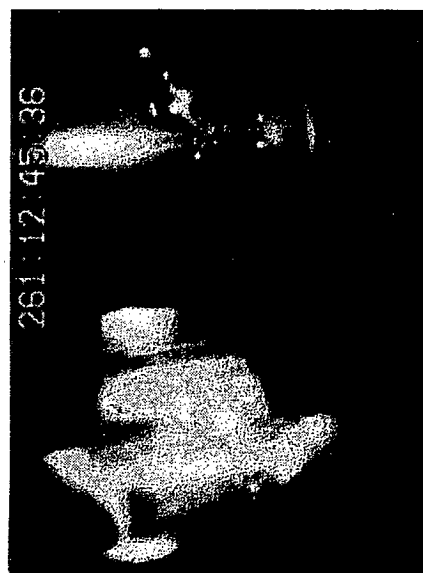
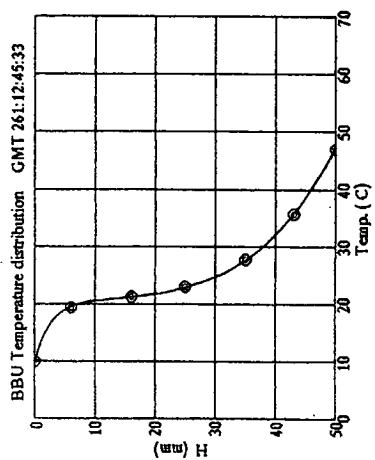
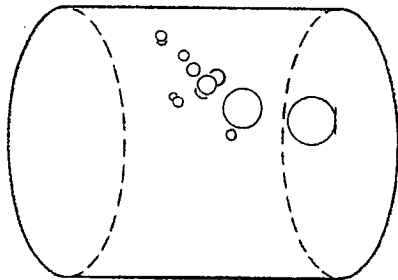
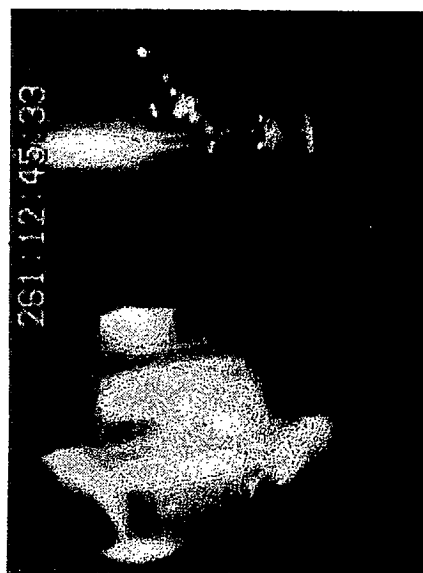
GMT 261:12:45:26 ~

後からきた大きな気泡が先に、かなりの速度で移動し、高温壁に付く。

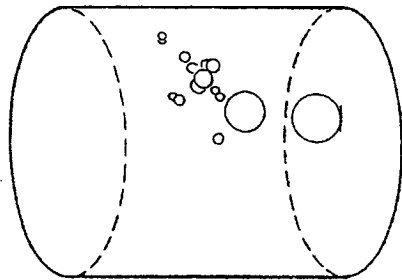


GMT 261:12:45:33 ~

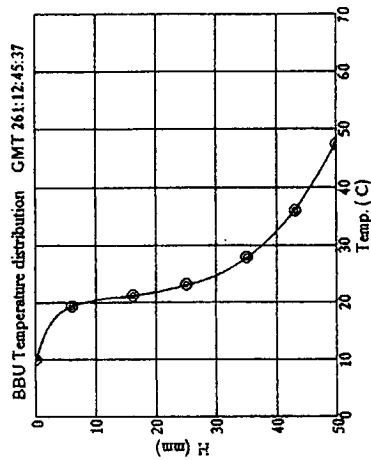
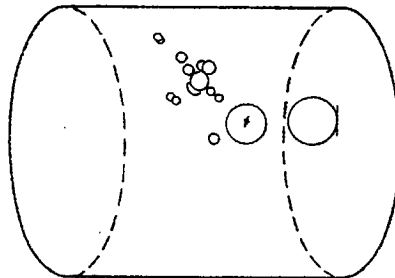
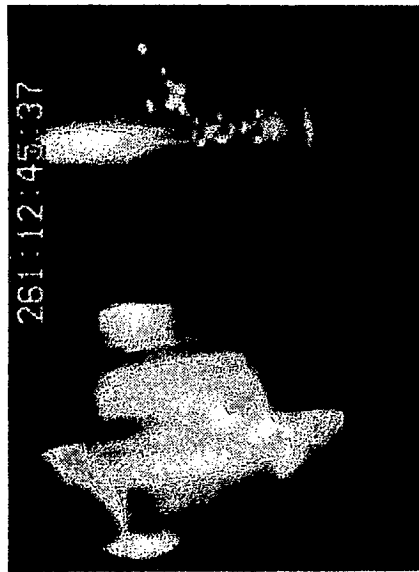
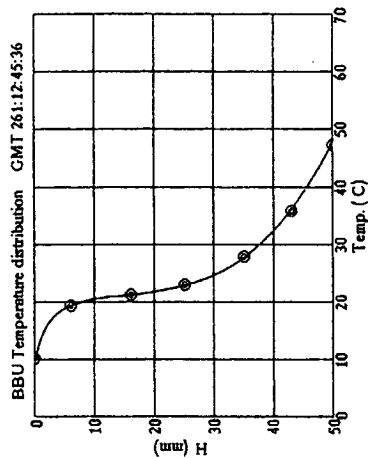
付く間は他の気泡は動かないのに付いた瞬間、他の気泡は反対側への力を受け
たように見える。



GMT 261:12:45:36 ~

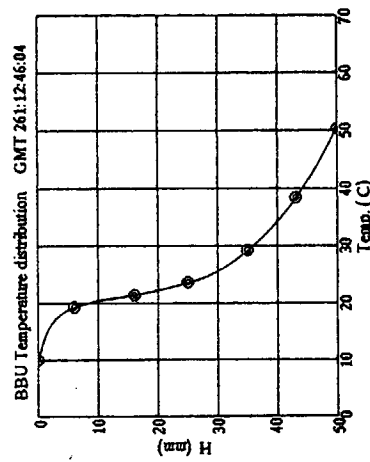
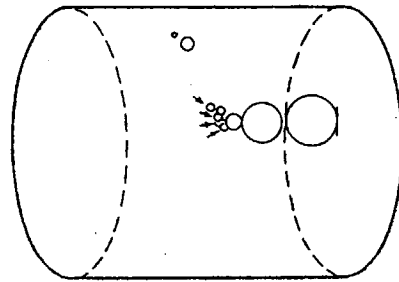
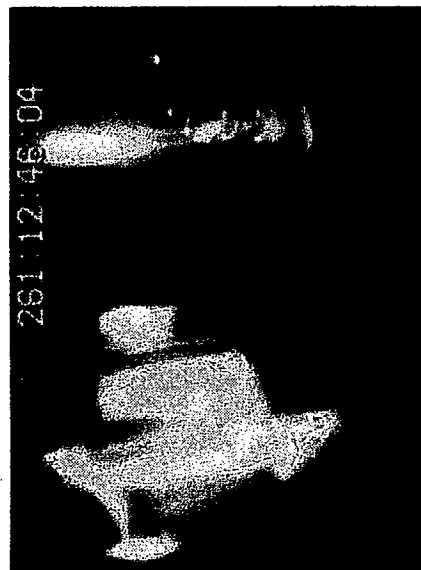
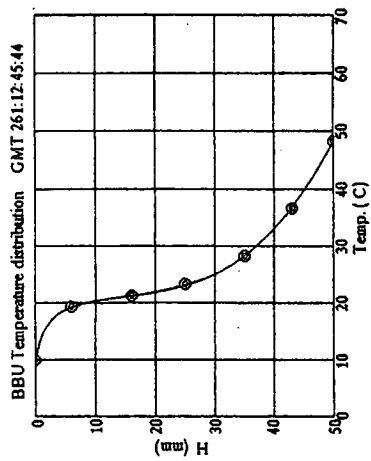
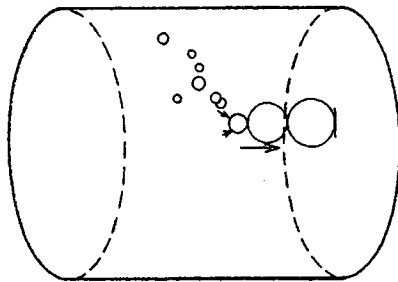
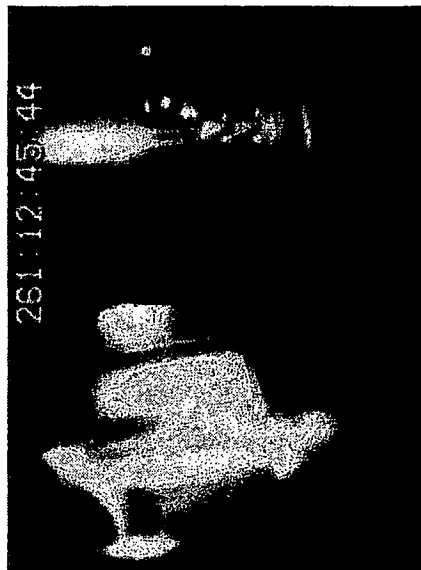


その後、横の大きな気泡が真横に動き先の大きな気泡の上部へ動く。

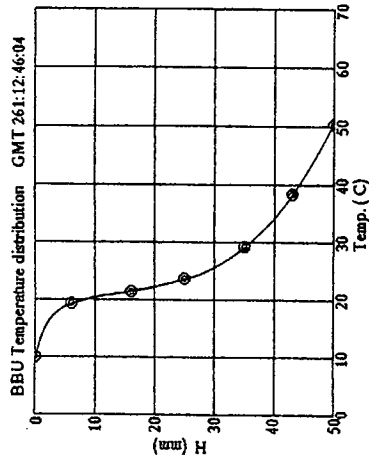
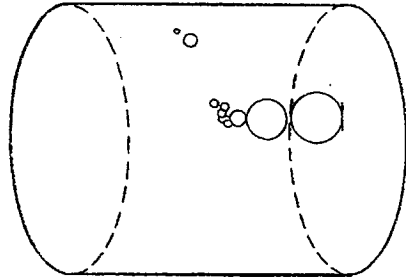


GMT 261:12:45:44 ~

次々と、小さい気泡が上の大きな気泡の上に寄ってきて、互いに合体し大きな気泡に成長する。

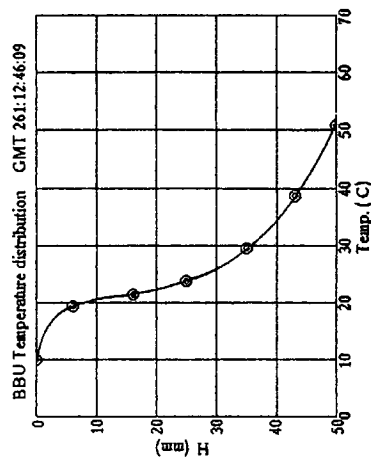
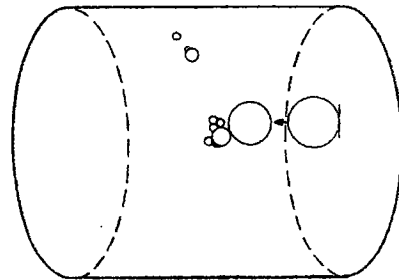
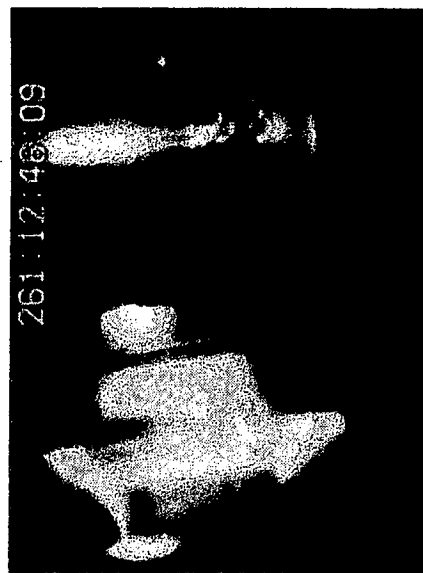


GMT 261:12:46:04 ~

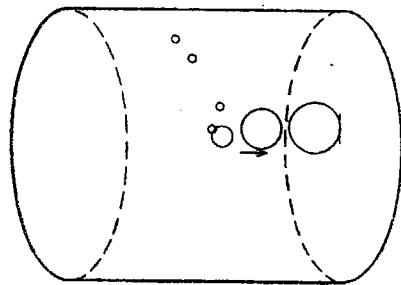
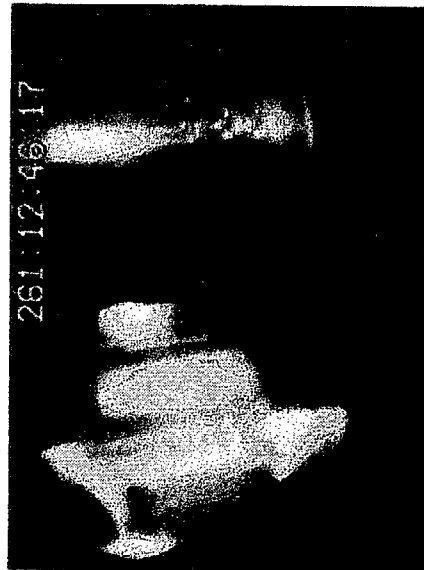


上の大きな気泡が上へすこし移動し、下の気泡から離れる。

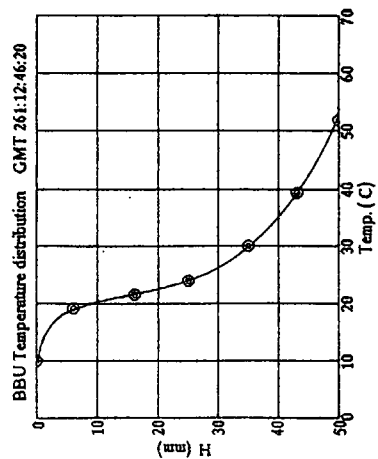
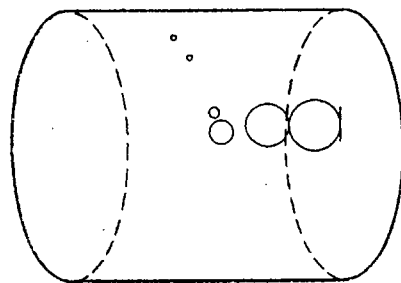
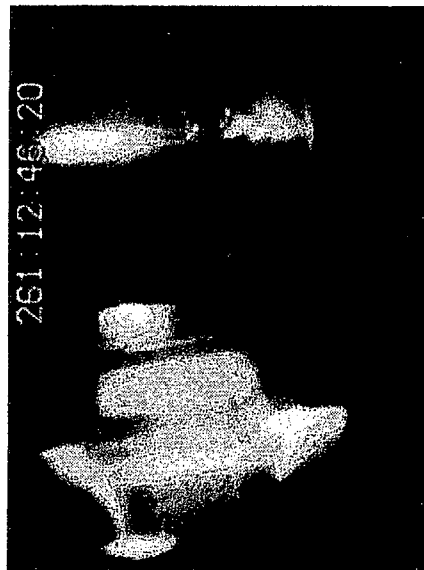
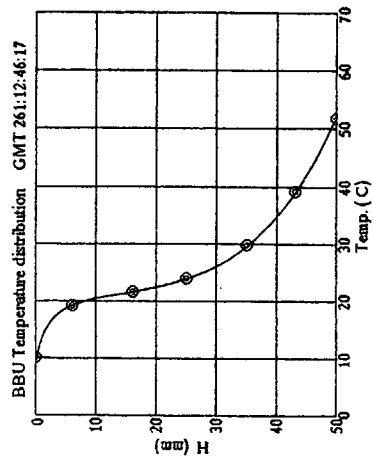
261:12:46:09



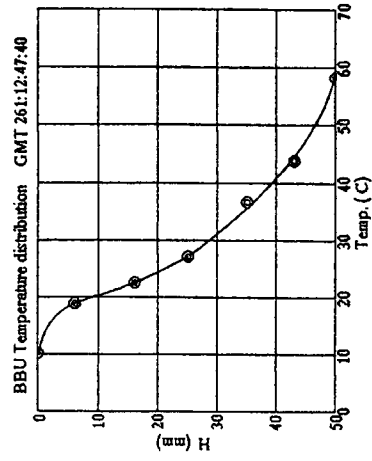
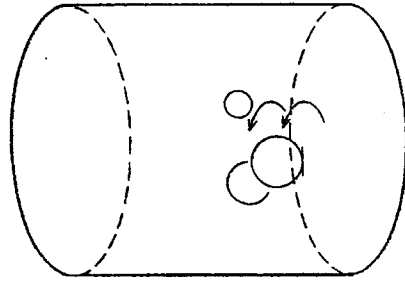
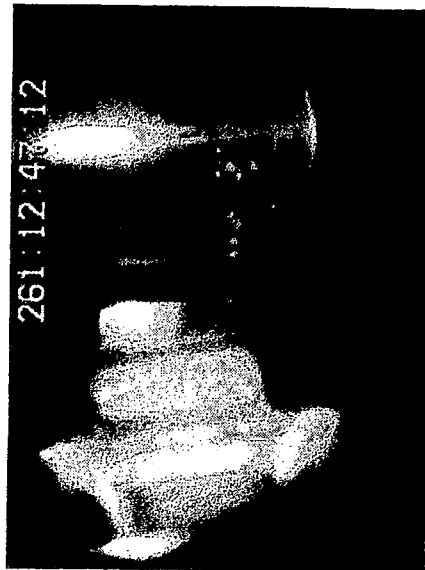
GMT 261:12:46:17 ~



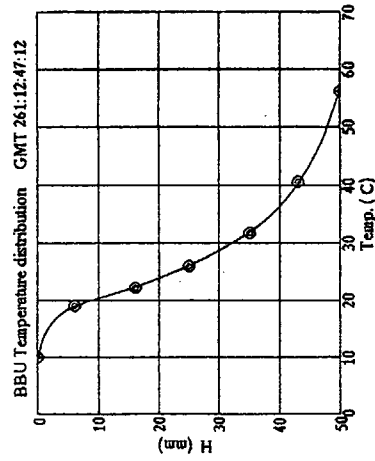
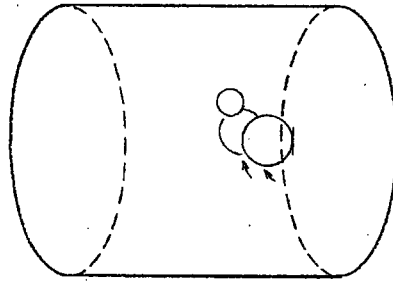
再、下に移動し、(小さな気泡は合体し1個の気泡になる) 3個の大きな気泡
が团子状に1列に並ぶ。



GMT 261 : 12 : 47 : 12 ~

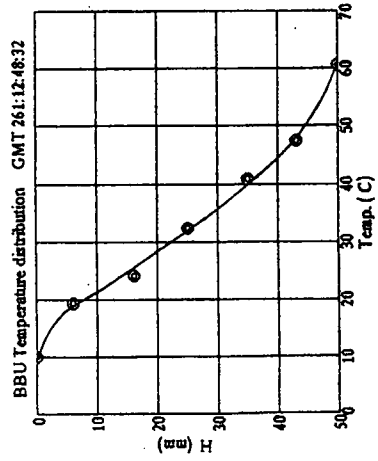
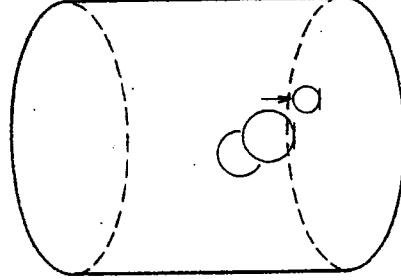
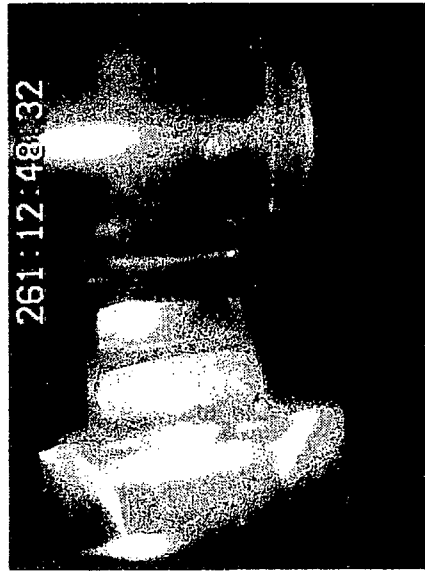
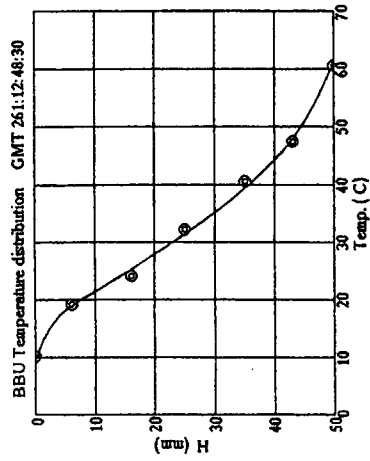
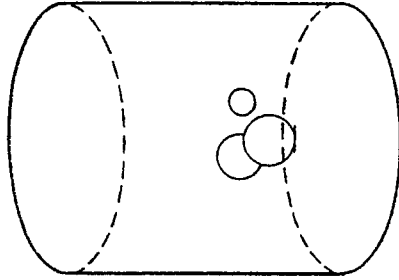
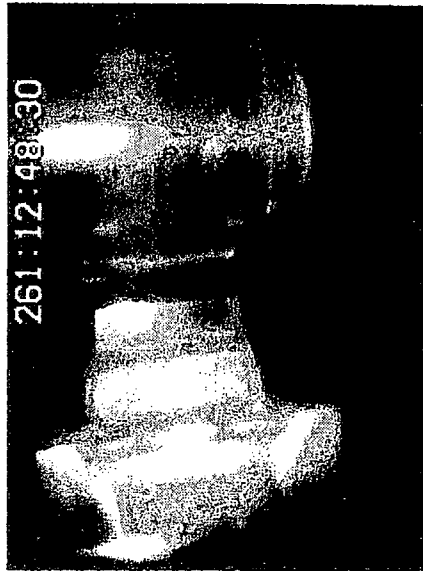


中心軸を中心に、団子状の気泡が右に回転し、また、左に回転し戻る。
下の気泡の動きが大きい。



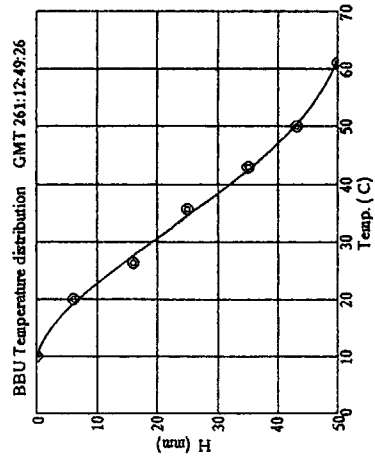
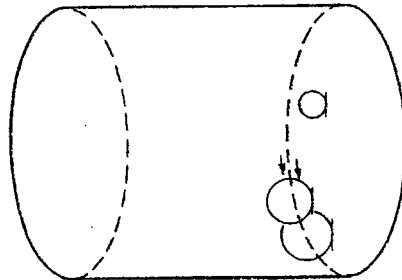
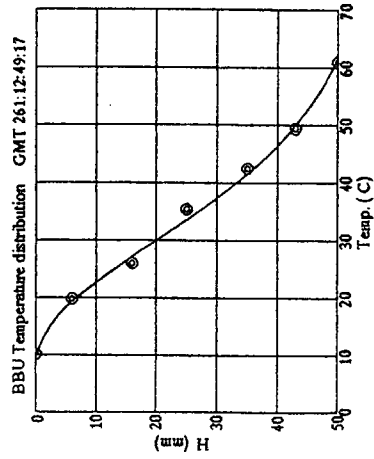
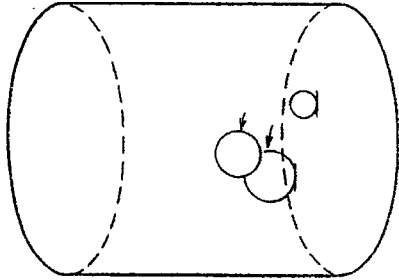
GMT 261:12:48:30 ~

一番上の気泡（小）が下に落ちる。



GMT 261:12:49:17 ~

残りの気泡は中心軸を左に回転し、下の高温壁及び側壁に付く。



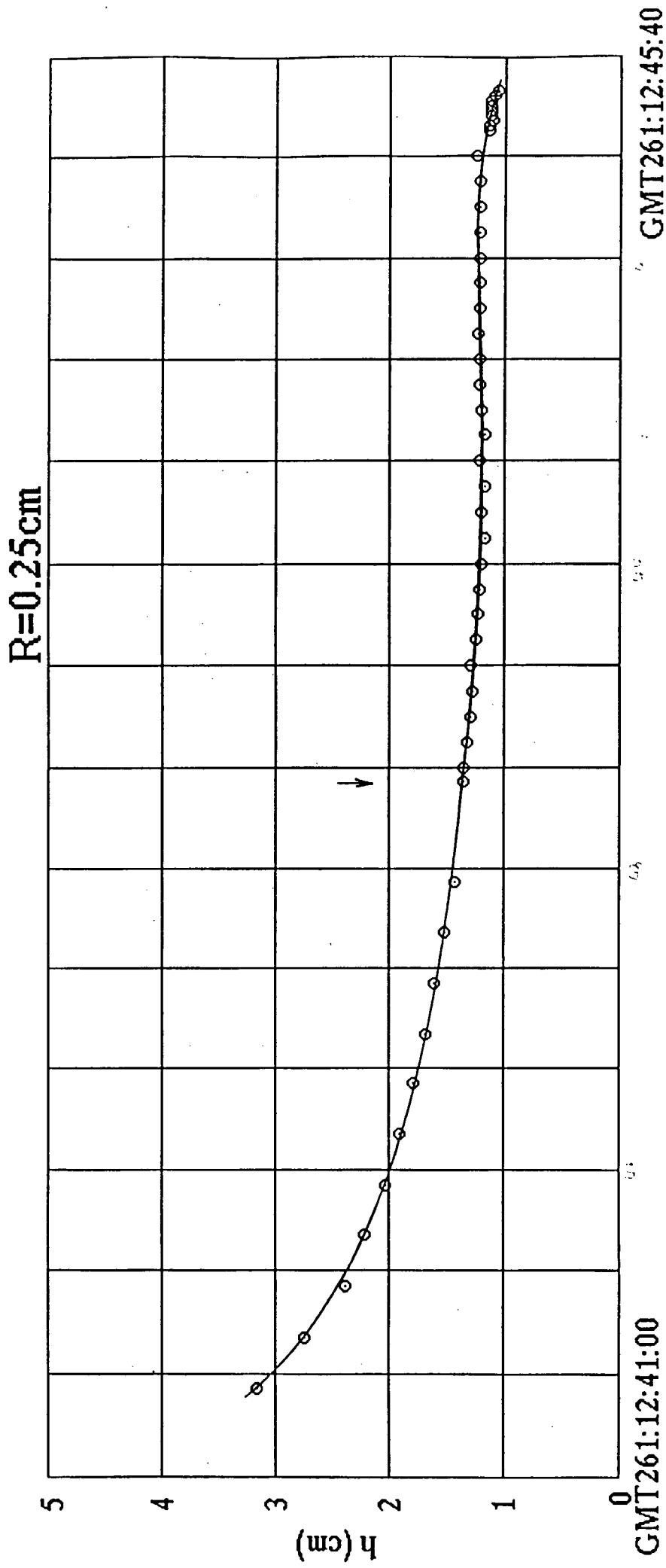


図 5 - 1 - (1). 各時刻における泡の位置 ($R = 0.25 \text{ cm}$)

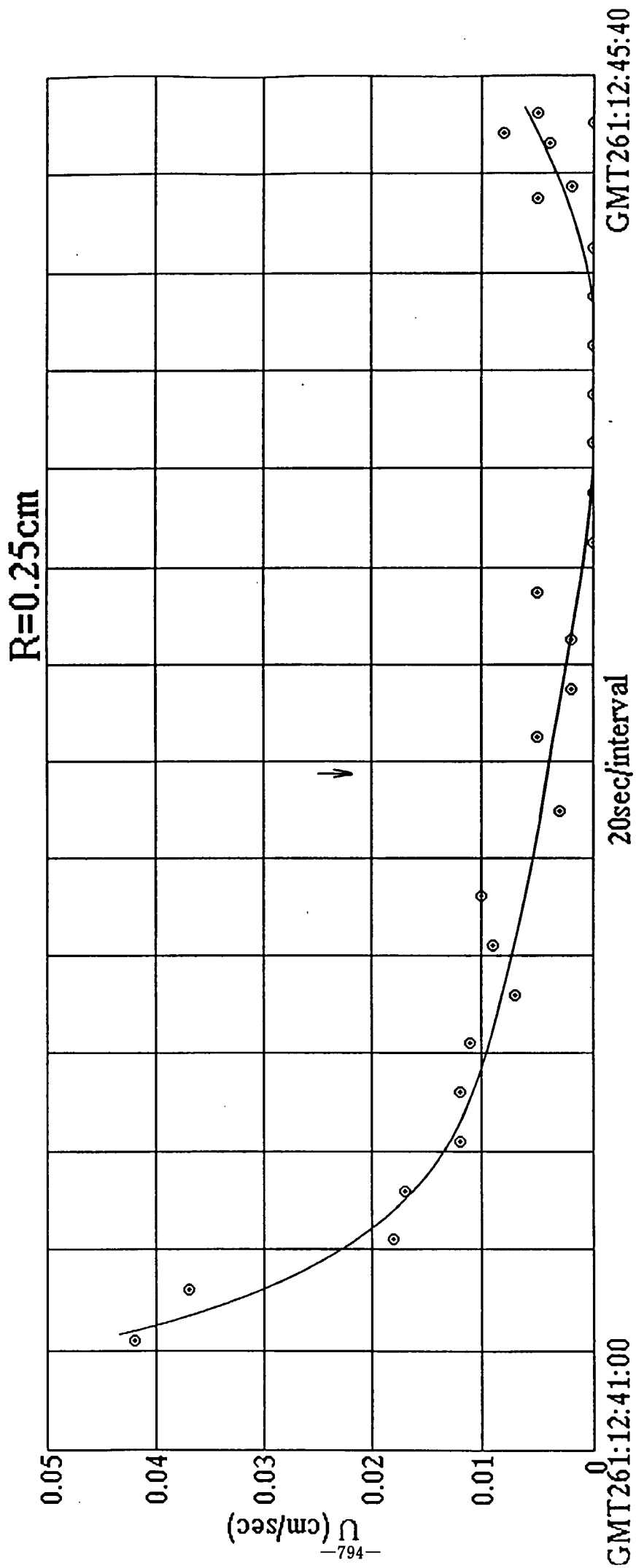
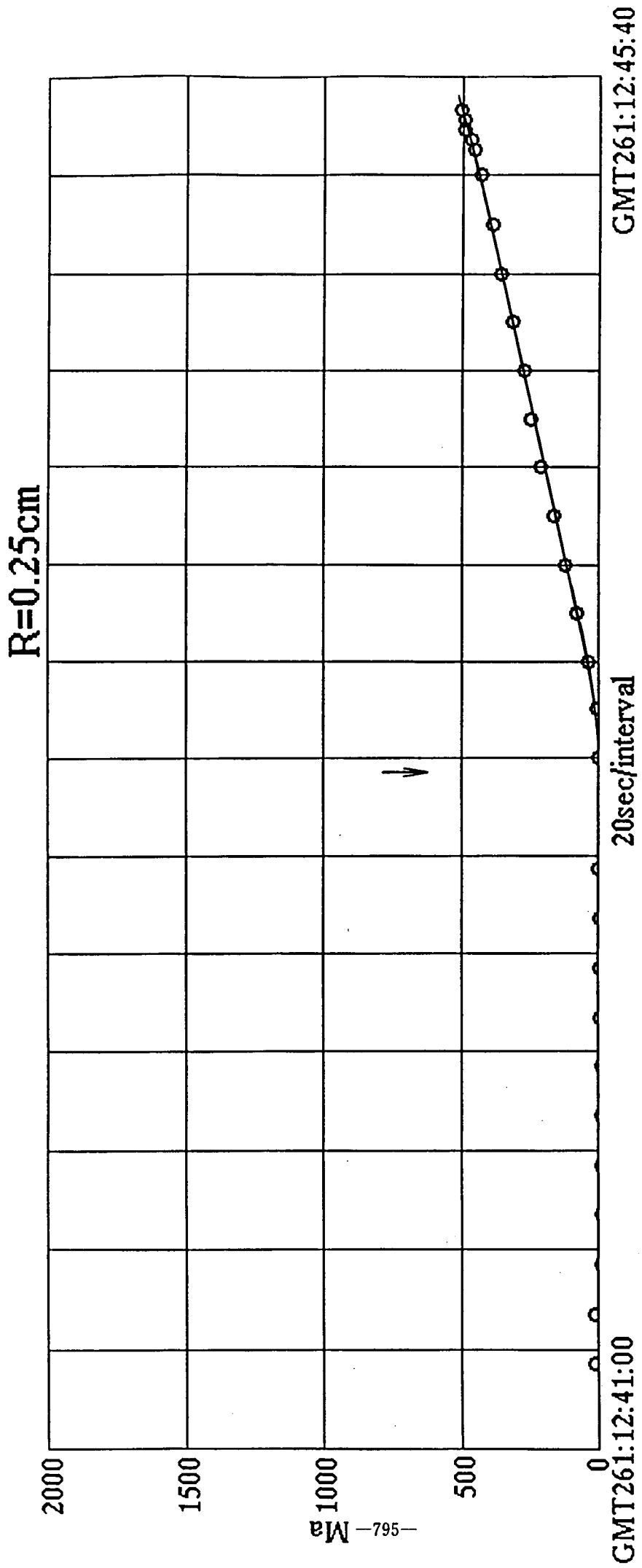
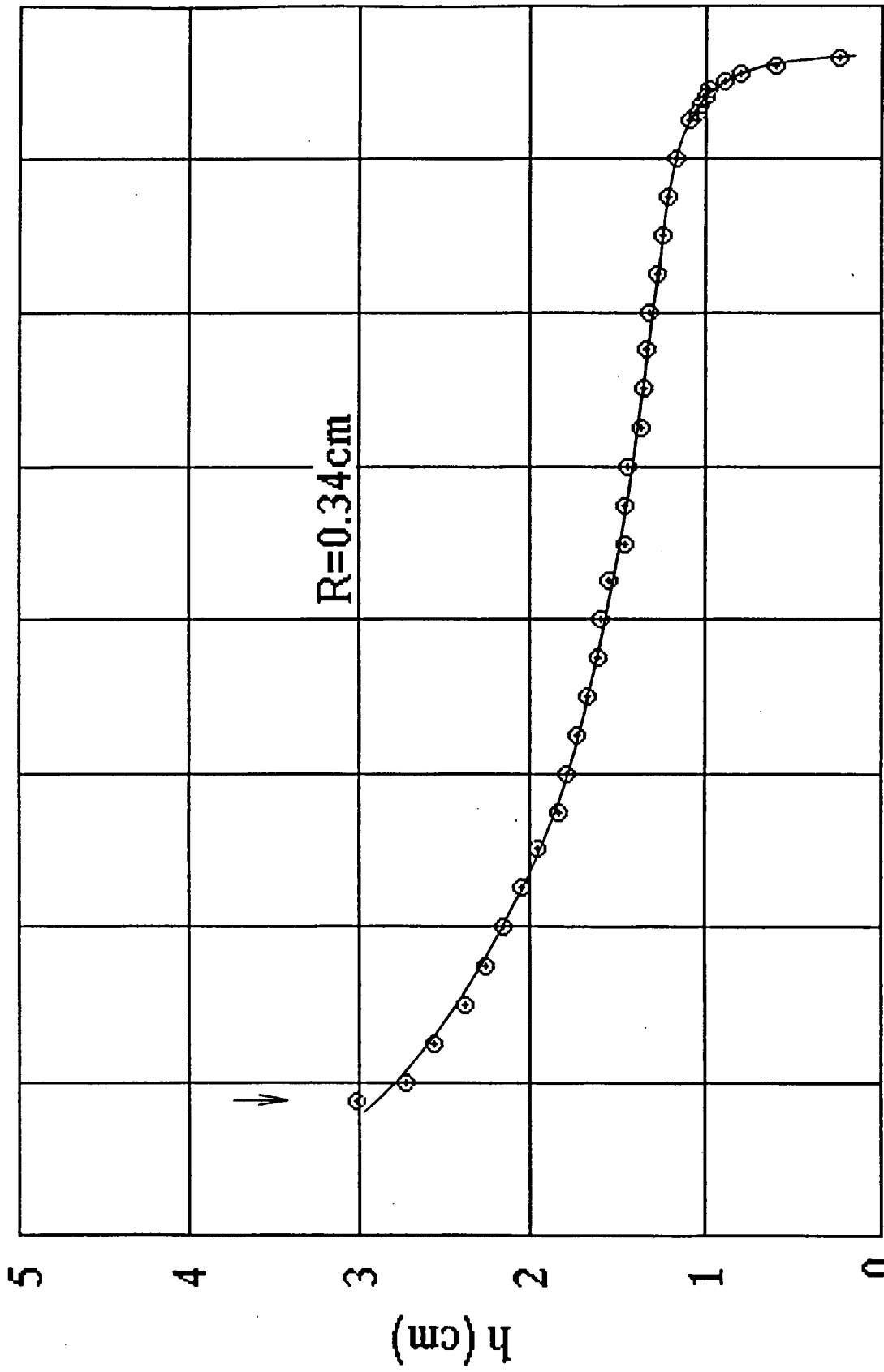


図 5 - 1 - (2). 各時刻における泡の移動速度





GMT261:12:43:00

20sec/interval

GMT261:12:45:40

図5-2-(1). 各時刻における泡の位置 ($R = 0.34\text{ cm}$)

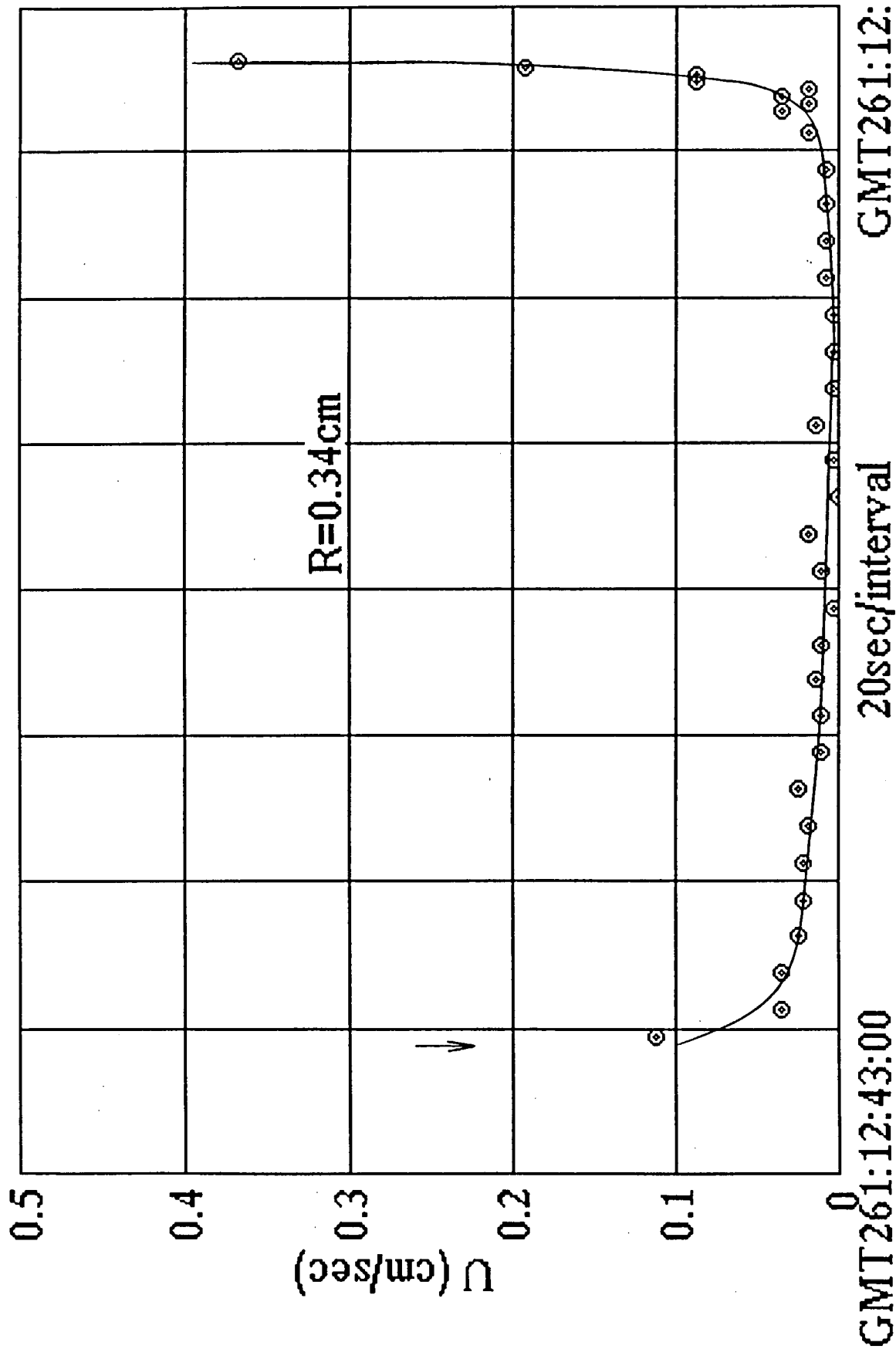


図5-2-2-(2). 各時刻における泡の移動速度

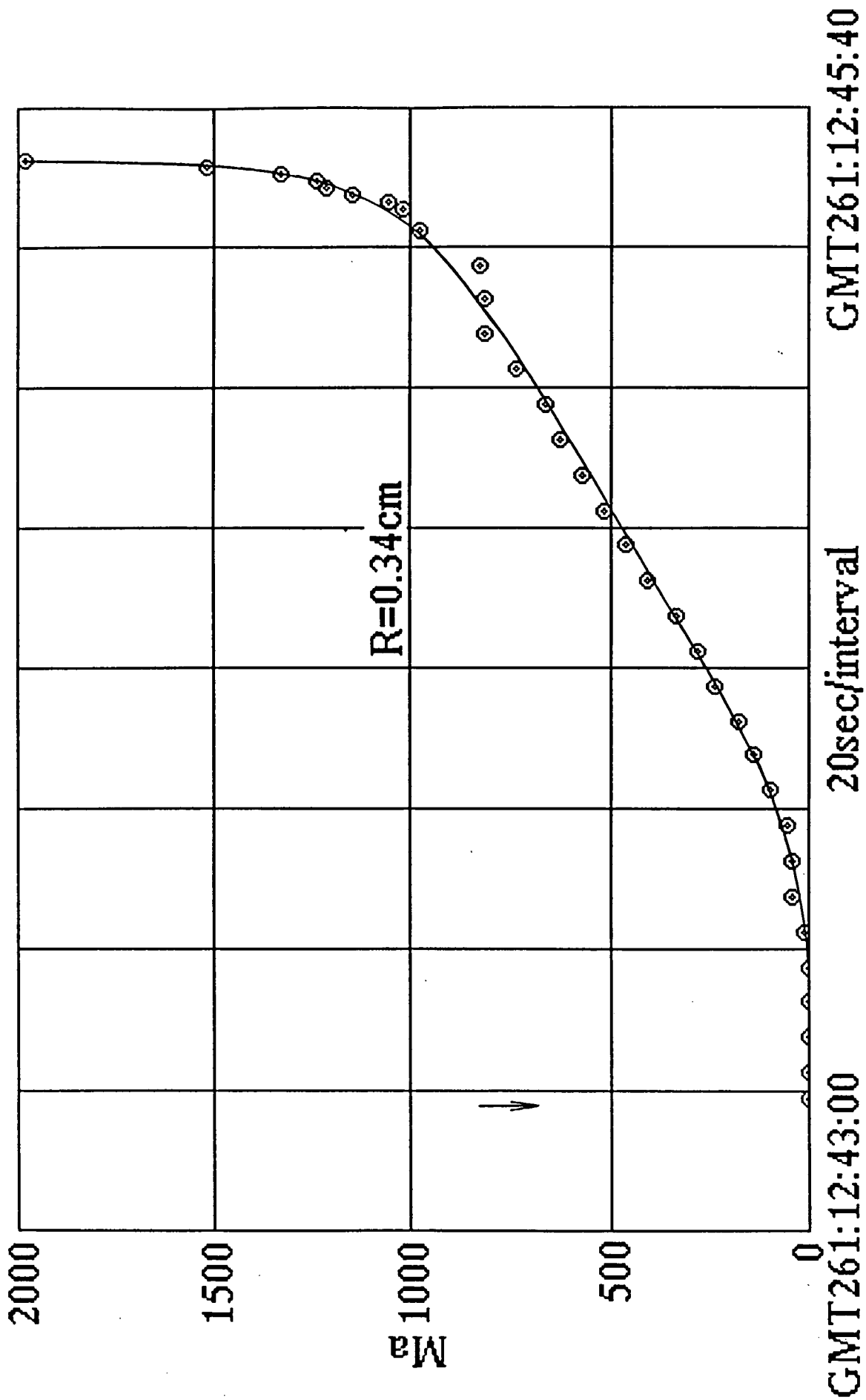


図5-2-(3). 各時刻におけるマランゴニ数

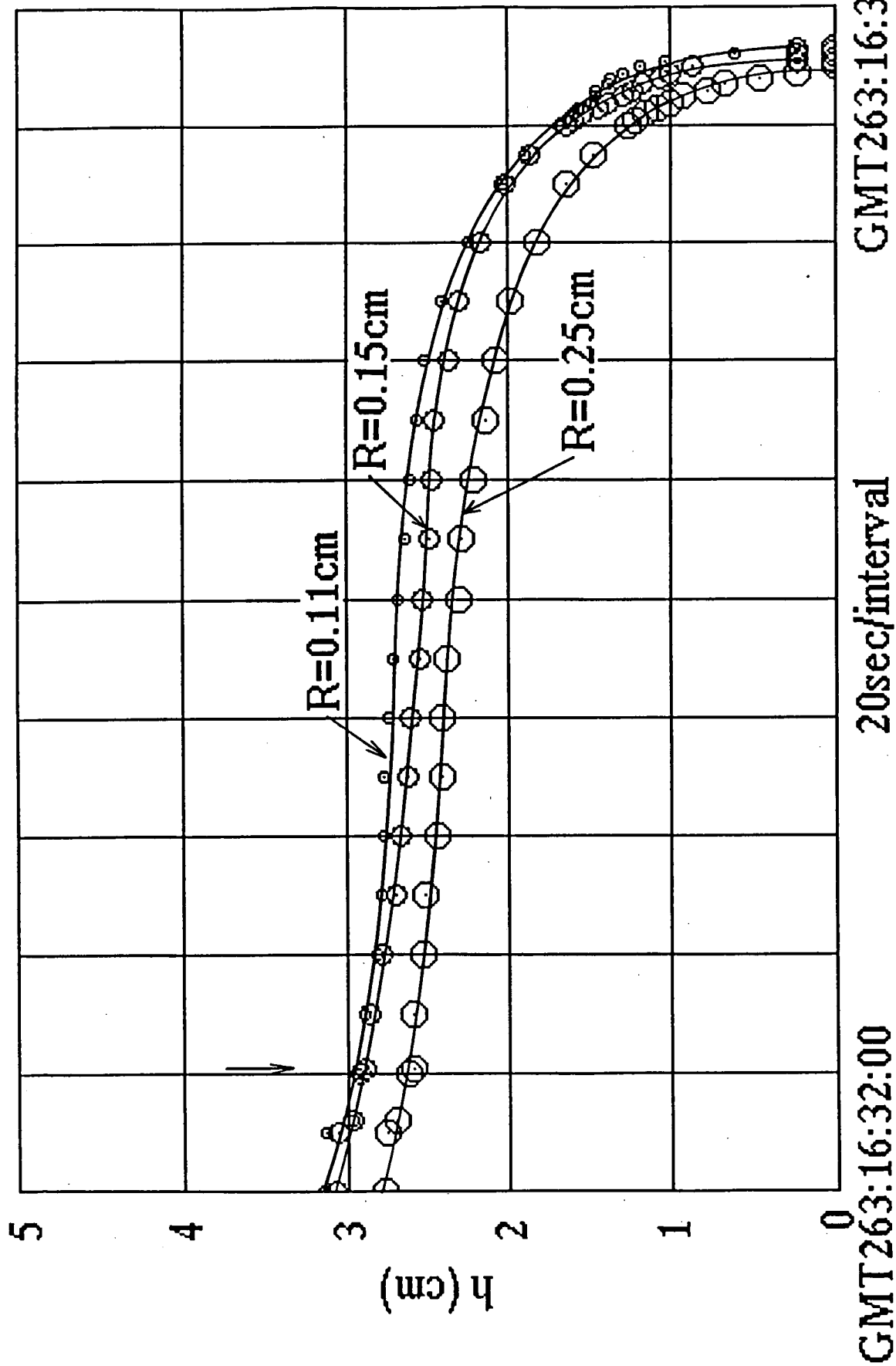


図5-3-(1). 各時刻における泡の位置
 (R = 0.11, 0.15, 0.25 cm)

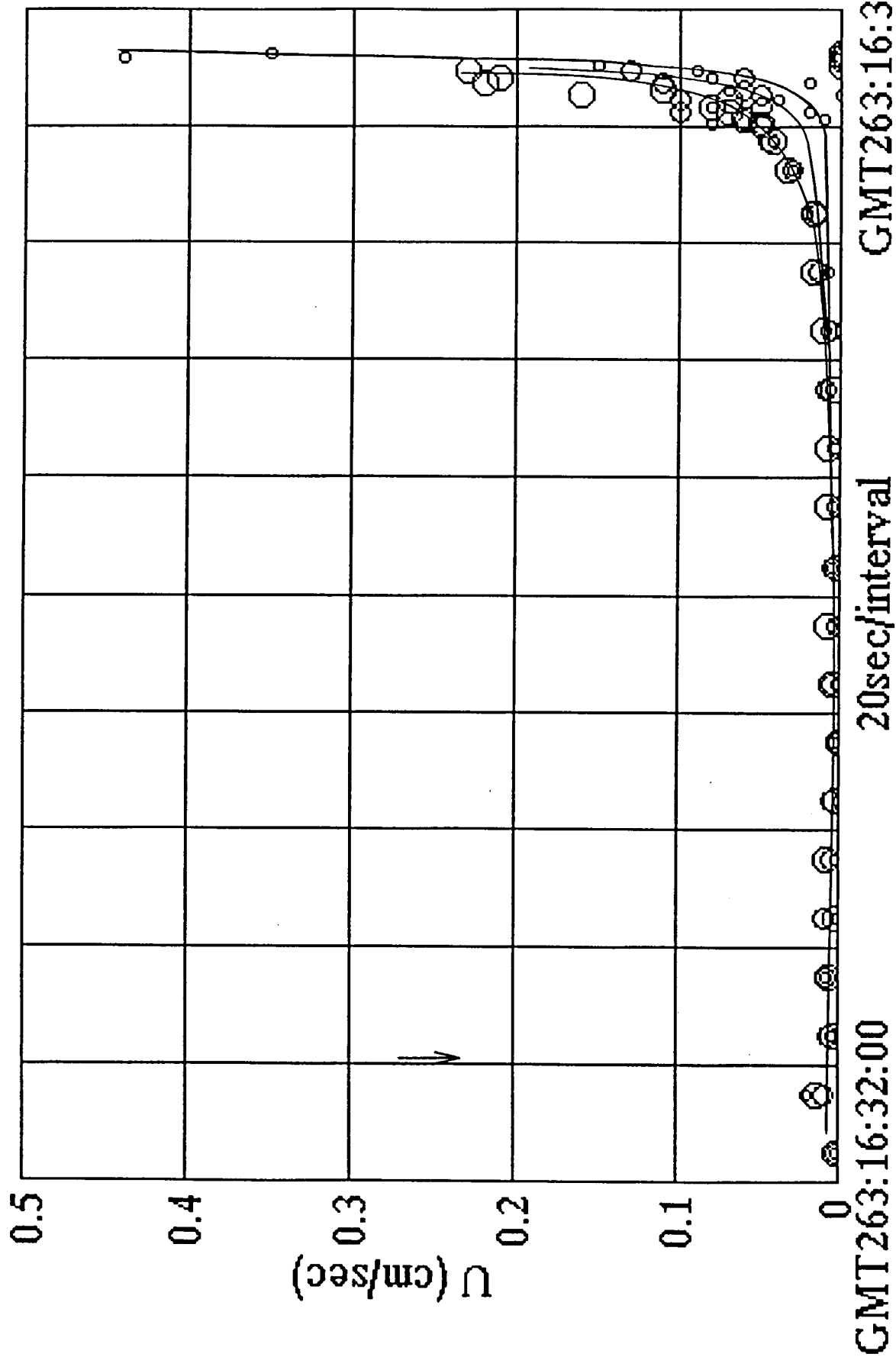


図5-3-(2). 各時刻における泡の移動速度

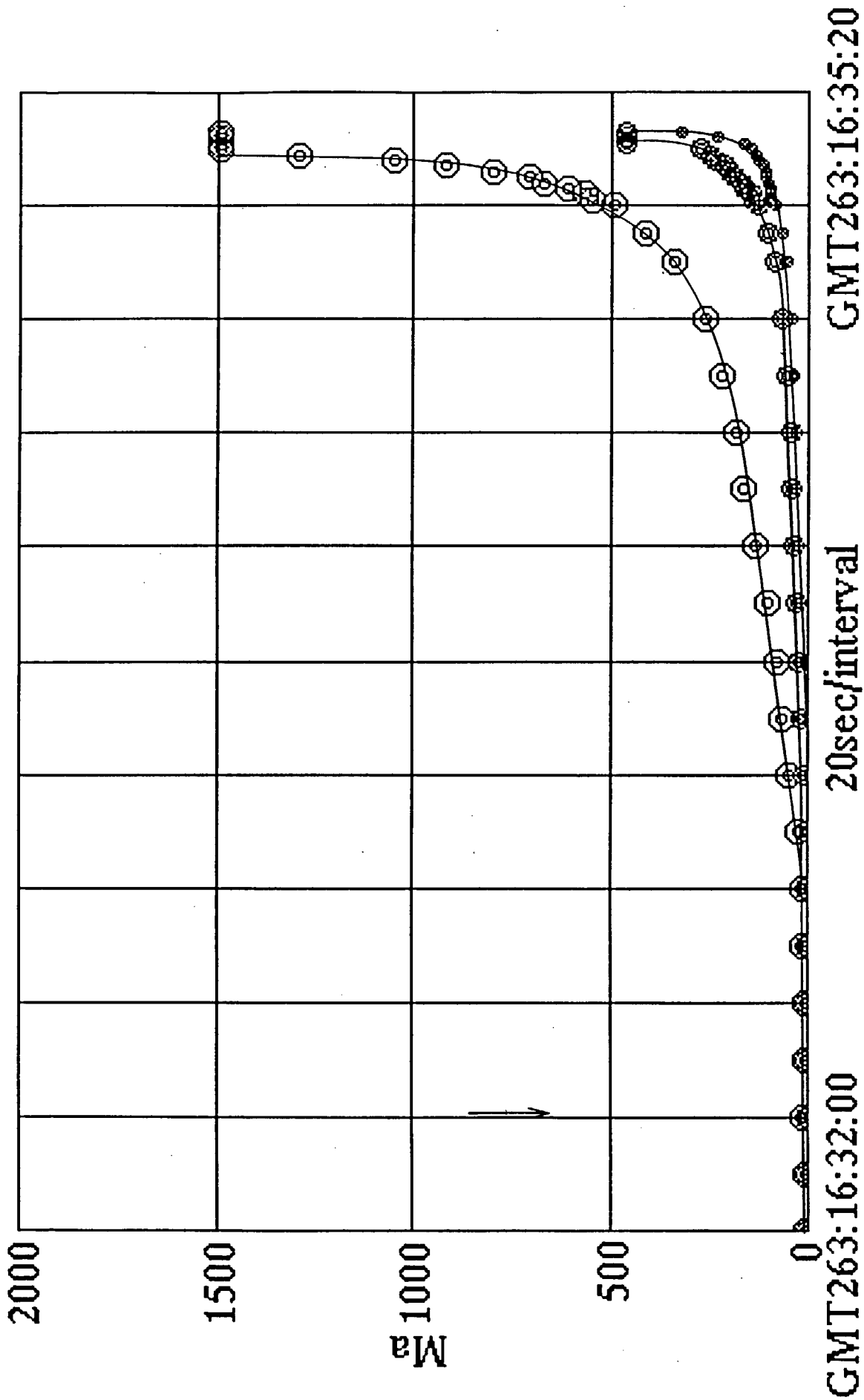


図5-3-(3). 各時刻におけるマランゴニ数

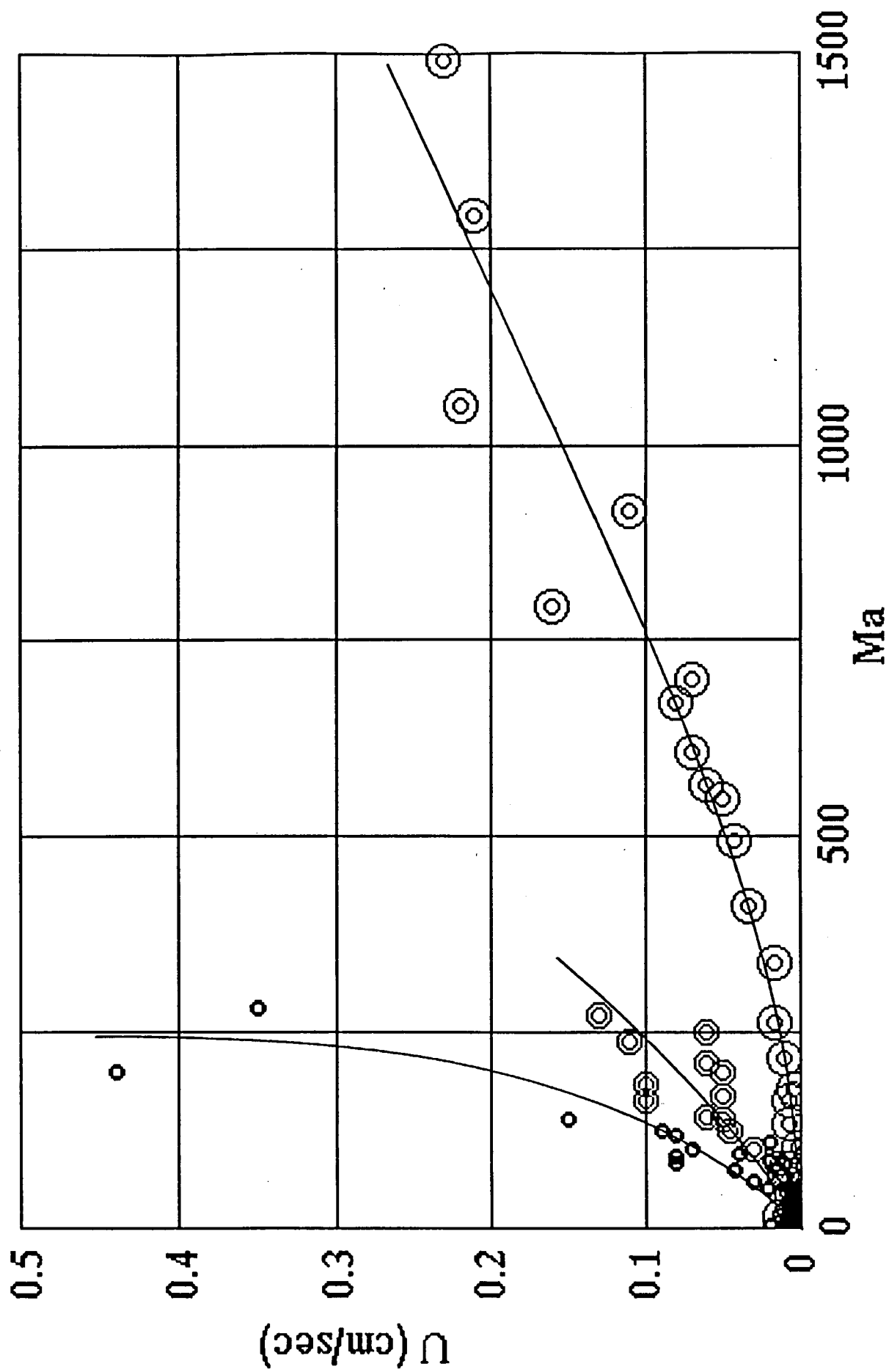


図 5 - 3 - (4). 泡の移動速度とマランゴニ数との関係