九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

乱流微細構造観測に用いるロープ収納容器の製作

油布, 圭
九州大学応用力学研究所技術室

https://doi.org/10.15017/1786645

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 16 (25), pp.30-, 2015-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

乱流微細構造観測に用いるロープ収納容器の製作

油布　圭

要旨

上昇式の乱流 微細構造プロファイラー（以降、上昇式ターボマップと呼ぶ）は、海面から水深数十メートルの乱流を計測する測器である。錘（切り離し装置付き）が付いた測器を海面から沈めて任意の水深で錘を切り離し、浮上しながら測器の上端に付いたセンサーで計測を行う。これまでの観測では、測器の信号ケーブルと錘に付いたレリーサケーブルが絡んで計測失敗や測器故障の原因となることがあった。そこで今回、ターボマップを内蔵記録式にして、信号ケーブルを使用しない観測方法を試すこととなった。信号ケーブルを使用しない場合の観測方法の検討とその際に必要なロープを収納する容器の設計・製作を行ったので以下に記す。

キーワード

乱流微細構造プロファイラー、ターボマップ、乱流計

1．上昇式ターボマップを用いた観測

九州大学応用力学研究所海洋力学分野では、ターボマップ N9（乱流 微細構造プロファイラー：JFE アドバンテック社製）を所有している（図 1）。ターボマップ N9 は海面から水深数十メートルの乱流を計測する測器で、胴体部分に取り付ける浮力材や内部の錘の位置、重量などを調整することによって下降式と上昇式で観測を行うことが可能である。下降式の場合は水面から任意の水深まで自由落下させて、その間計測を行う。ただし、下降開始から測器の姿勢や速度（0.5-0.6 m/s）が安定するまでに 5-10m 程度必要であるため、海面付近を計測したい場合は上昇式を用いる。今回は上昇式の場合の観測方法の検討であるため、以降は上昇式ターボマップの観測について説明する。測器は全長が約 2m、空中重量は約 35kg に及び、上端には乱流を計測するシアーセンサーや水温センサー、深度センサーなどが取り付けられている（図 2）。測器後方に信号ケーブル（図 3）を繋いだ場合はリアルタイムで、信号ケーブルを使用しない場合は内蔵記録で計測を行うことができる。これまではリアルタイムでの計測を主に実施してきた。

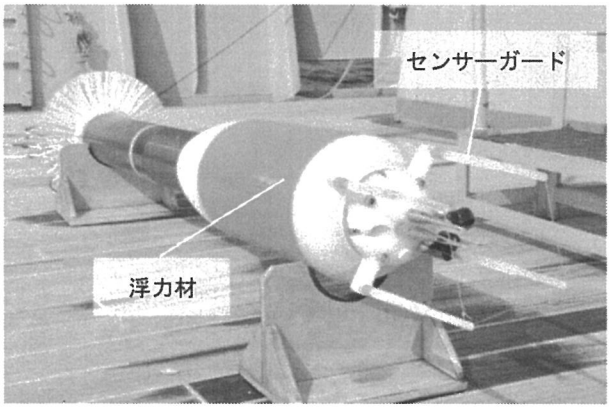

図 1　ターボマップ N9（上昇式）

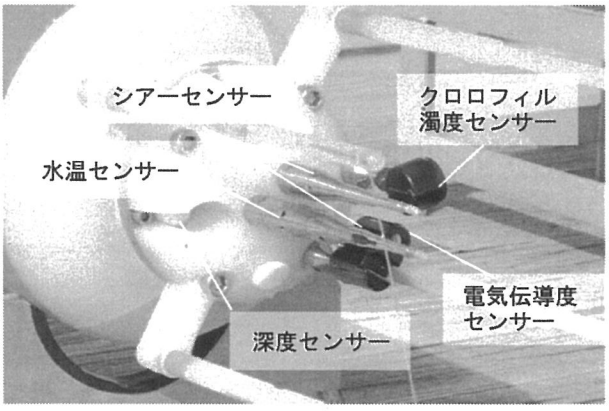

図 2　ターボマップのセンサー部分

上昇式ターボマップの観測では、図 4 に示す切り離し装置（レリーサ）付き錘（合計 5kg）を測器後方のフランジ部分から出る信号ケーブルに取り付けて任意の水深（海面から 15m 程度のデータが必要な場合は 20-25m 程度）まで沈めた後、錘を切り離している。レリーサ付き錘は船上にあるスイッチとケーブルで繋がれ

ており、スイッチを押して切り離しの命令を送ることで取り付けたシャックルが外れて測器と切り離される。その後、測器は 0.5-0.6m/s の速度で浮上しながら海面に出るまで計測を行い、その間信号ケーブルを通してリアルタイムでデータが送られる。航海観測では、この計測を 1 又は 2 時間毎に 3-5 回実施する。多くの場合、24 時間体制で観測を実施するため、1 日に数十回計測を行うこともある。上昇式ターボマップの観測手順を下記にまとめる。

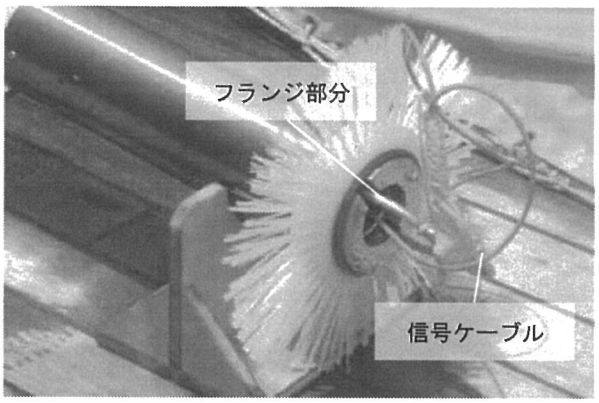

図 3　ターボマップの後方部分

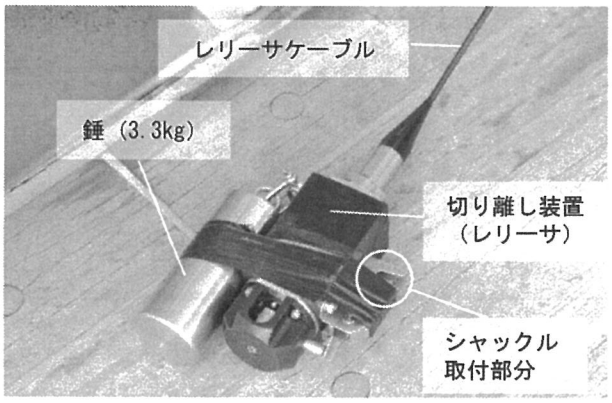

図 4　錘と切り離し装置

① 測器の組み立てとウィンチ等の準備
② 測器を海中へ投入
③ レリーサ付き錘を信号ケーブルへ取り付け
④ 錘を海中へ投入して所定の水深まで測器を沈める
⑤ 錘を切り離して計測開始
⑥ 測器浮上後（計測終了）に錘を回収
⑦ ③－⑥を 3-5 回繰り返す
⑧ 測器を船上に回収
⑨ 1 又は 2 時間毎に②－⑧を実施

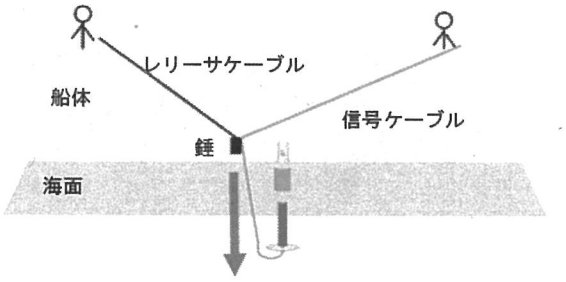

図 5　従来の観測の模式図

この方法の場合、錘を測器に取り付けて所定の水深まで沈める際あるいは測器が浮上する際に、数～十数回に 1 回の割合で信号ケーブルとレリーサケーブルが絡むことがある。ケーブルが絡まると測器が海面まで浮上しなかったり、浮上してもケーブルが測器に巻きついたりして計測失敗となる。また、運が悪いとケーブルがセンサーに触れ、センサーを傷めることもある。信号ケーブルとレリーサケーブルが絡まないようにするには、海面から錘を沈める際にできるだけ離れた位置で 2 本のケーブルを張り（図 5）、錘を測器と船体の間に投入することが求められる。漁船のような比較的小さい船では甲板と喫水線の距離が近いためこの作業を容易に行えるが、大きな船ほどその距離が離れるため難しくなる。また、小さい船であっても風向きや流れの向きによってこの作業が困難になる場合もあり、その場合はケーブルが絡む頻度が増すため観測作業が順調に実施できない。

2．ケーブルが絡まない観測方法の検討

上述のように、計測失敗となる最大の要因は信号ケーブルとレリーサケーブルが絡むことである。そこで、信号ケーブルかレリーサケーブルのどちらか片方のケーブルのみを使用して観測を実施できないか検討した。（水中で浮力調整を自動で行える装置を測器に取り付けるのが最善の方法であるが、技術的にかなり高度であることとできたとしても高額な費用が必要である。）

信号ケーブルのみを使用する場合は、リアルタイムで水深や上昇速度をモニターできることが利点であるが、レリーサ付き錘を使わないのでどのように測器を沈めて所定の水深で浮上を開始させるかが問題となる。浮力調整する装置が付いてないので測器を沈めるにはやはり錘が必要であるが、レリーサケーブルを使用しないので海中（水深約 25m）で自動的に切り離される仕掛けを持った錘を使用しなければならない。そのような錘が思い当たらなかったこと、また、あったとしても海中に捨てることになるため個数や費用の面から考えてもこの方法は難しいと判断した。

一方、レリーサケーブルのみを使用する場合は、信号ケーブルを使用しないため内蔵記録式に変更しなければならない。リアルタイムでデータを確認できなくなるが、自動で計測開始と終了を行うため PC から命令を送る手間が省ける。欠点は、錘を切り離すと測器と物理的に繋がるものがなくなるため、測器を喪失する可能性があることや、船上へ測器を回収するのが難しくなることである。ただし、レリーサケーブルの先端（レリーサ付き錘）から測器にロープを結べば上記の問題を解消することができるため、この方法を試すこととなった。

3．レリーサケーブルとロープを使用した観測方法の検討

浮上式ターボマップの観測では、測器を 0.5-0.6m/s の一定速度で上昇させる必要があり、外力が加わって速度が落ちないようにしなければならない。海中だとターボマップが潮流で流されるので錘と測器をロープで繋げる場合、測器に張力がかからないようにロープ長は錘を切り離す水深の 2-3 倍程度必要である。今回は水深 20－25m で切り離すことを想定したため、ロープの長さは 60m とした。また、ロープ自体の重さや抵抗によっても張力がかかる可能性があるため、ロープの材質や径の選定についても検討を行った。ロープの材質は比重、強度、コストの面からナイロン製のものを選んだ。ロープ径は大きいと強度が上がるが、水の抵抗や重量、容量の増加が問題となる。逆に径が小さいと、強度不足となったり測器回収時に手に食い込んで作業がしづらくなったりといったことが問題となる。そのため、今回は直径 4mm のロープを選択した。因みに、直径 4mm のナイロンロープでも破断過重は 300kg 以上であるため、ターボマップ観測における使用には問題ないと判断した。

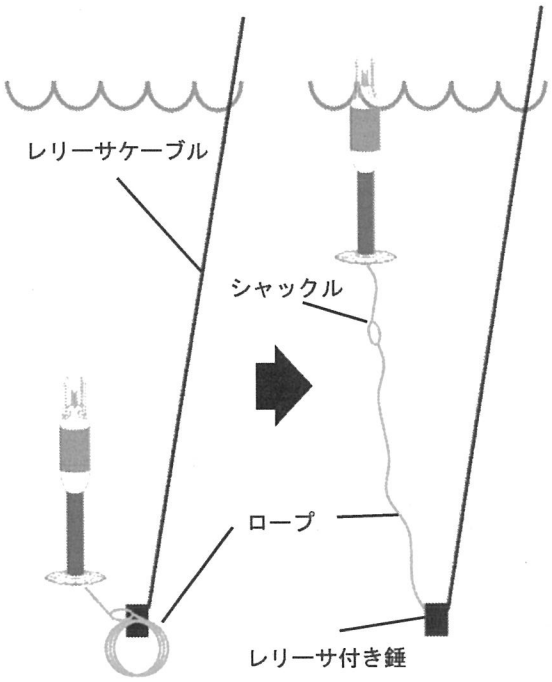

図 6　観測の模式図

レリーサケーブルとロープを用いて観測するには、ロープを測器や錘と共に沈め、測器浮上時にロープが絡まないように繰り出されるようにしなければならない。図 6 にその様子を示す。最も簡単な方法は、ロープをレリーサ付き錘の近くで束ねておいて、切り離しと同時に束が解けるようにすることである。図に示すようにロープをコイル状に束ねる方法や一定の長さで何度も折り返して束ねる方法を水深の深い水槽で試してみたが、ロープ自身が絡んだり測器やケーブルに巻き付いたりして上手くいかないことが分かった。ロープが裸の状態だと水中で暴れるため、上手くいかない原因となっていた。

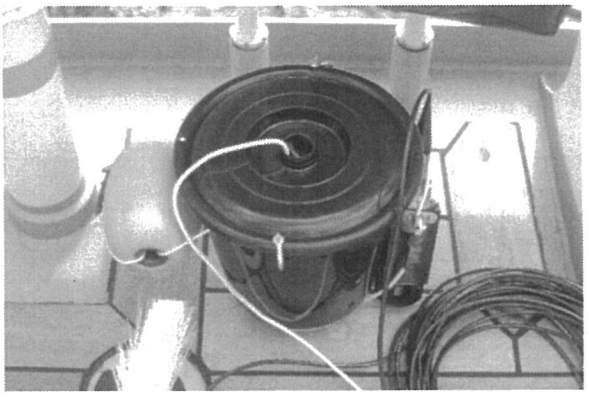

図 7　ロープ収納容器（試作）

次に、ロープを容器に入れて測器の上昇とともに繰り出されるような方法を試した。図 7 に示すような容器（バケツ）にロープを入れ、それをレリーサに取り付けた。このときは試験的な意味合いが強かったので、簡単に手に入り加工できるバケツを用いた。容器の上部にはロープが出る穴を設け、測器の上昇とともにロープがその穴から出るようにした。ロープの途中（測器から数 m の位置）にシャックルを付けてレリーサに装着し、シャックルが外れるまではロープが容器から出ないようにした。この容器を用いて試験計測したところロープの絡みが原因で計測が失敗する回数が減少したので、ロープを容器に収納するこの方法で実際の観測を行うことにした。試験計測で用いたバケツはプラスチック製のため強度が不十分であり、また安定感も悪く、蓋の開閉も面倒なため SUS304 材で専用の容器を製作することにした。

4．ロープ収納容器の設計・製作

ロープ収納容器は強度や防食、コストの面から SUS304 を用いて製作した。今回製作したロープ収納容器を図 8 に示す。容器は直径 26cm、高さ 32cm、重量 3.5kg の円筒形とした。ロープの収納の仕方は図 9 に示すように巻いたり束ねたりせずに、絡まないようにそのまま上から落として重ねていくようにしている。このようにすると容積は増えるが撚りがかからずに、またロープが容器から出る際も余計な張力がかからない。ロープの一端は収納容器の底に結んで固定し、もう一端はターボマップのフランジ部に撚りがかからないようにスイベルシャックルを付けて結んだ。また、フランジ部から 2m（甲板と喫水線の距離によって調整）の位置に輪を作り、そこにシャックルを取り付けてレリーサに装着できるようにした。切り離しの命令を送った際には、このシャックルがレリーサから外れて測器が上昇すると同時に、ロープが出て行く仕組みとした。

容器の大きさは、より深い水深で観測を行うことも想定して 150-200m のロープが入る、少し大きめの構造としている。容器の形状を円筒形としたのは、水の抵抗を抑え水中で流されないようにするため、また投入時や回収時に船を傷つけないようにするためである。容器の重量は後述するレリーサフレーム（図 10）と合わせて、元々取り付けていた錘と同等の 3.5kg としている。容器が錘の役割も果たすので元々付いていた錘は取り外した。一応、容器が上手く沈まない場合に重量を増やせるように、底面（図 11）に SUS 板を取り付けられるようにしている。容器の上面と底面の骨組みは、直径 6mm の丸棒を直径 35cm の円状に曲げて溶接している。そこに、厚さ 1mm のパンチングメタルを溶接して貼り付けている。パンチングメタルを選んだのは、投入時に容器に浮力が働かないようにするためである。容器に浮力が働くとなかなか沈まずに観測に要する時間が増えたり、ロープが絡みやすくなったりといった不具合が発生するためである。ただし、穴が大きすぎるとロープが穴に詰まったり、強度が低下したりするため穴径 5mm のものを選んだ。

容器の蓋についても丸棒とパンチングメタルで製作し、ロープが出て行くための窓を設けた。窓の部分はロープが直接触れる部分であるため、バリなどが残らないように表面をグラインダーで念入りに処理した。蓋部分と収納部分の固定には、簡単に開閉を行えるように溶接で蝶番と掛金を取り付けた。丸かん部分を 90 度回転させるだけで蓋の開閉が可能である。

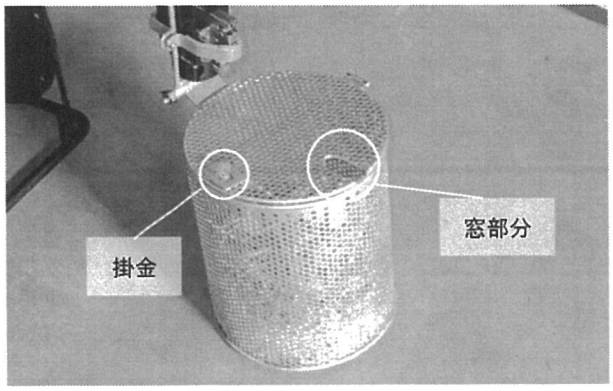

図 8　ロープ収納容器

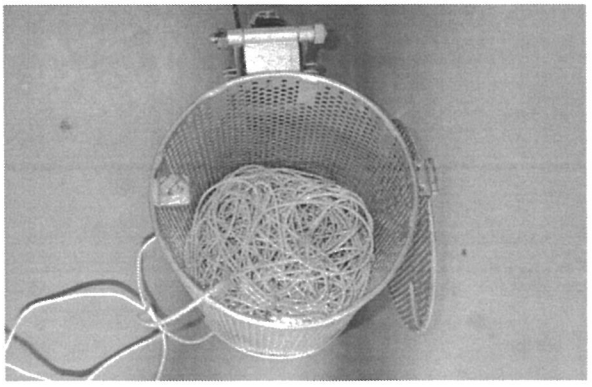

図 9　容器内のロープ

製作した収納容器はレリーサに取り付ける必要があるため、レリーサのフレームを製作し取り付けることとした。フレームは図 10 に示すように丸棒や丸パイプ、平板を溶接、曲げ加工して製作した。連結部分は強度を持たせるため、直径 10mm の全ネジと丸パイプで蝶番を製作して取り付けている。製作後は特に溶接部分の錆びを抑えるために、フレームと容器の表面をスプレーで塗装した。

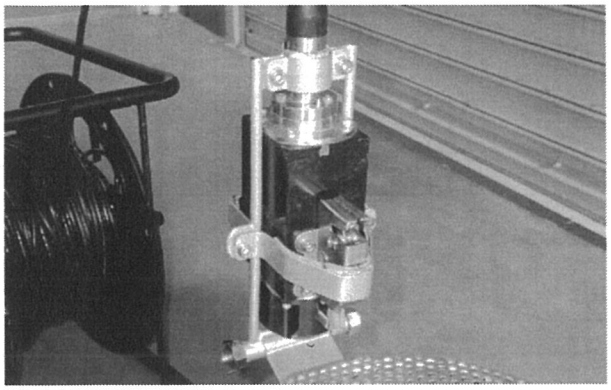

図 10　レリーサとフレーム

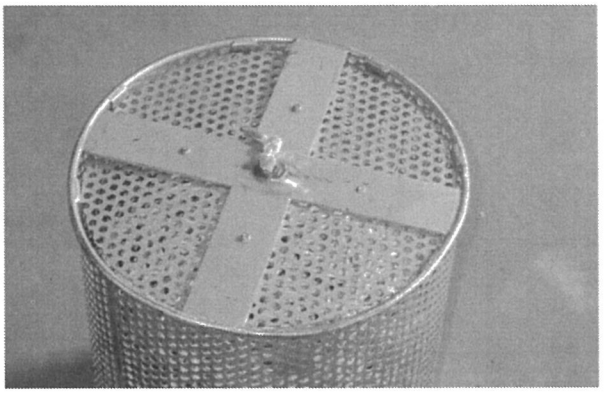

図 11　収納容器の底部分

5．観測での使用

上昇式ターボマップの観測は、2014 年 8 月に水産総合研究センターの調査船しらふじ丸に乗船して八代海にて実施した。2 日半にわたって 1 時間（又は 2 時間）毎に観測を実施したため、計 150 回程度計測を行った。図 12,13,14 にターボマップ観測の様子を示す。製作した収納容器を使用して観測を行ったが、基本的な手順は 1.で示した手順と変わっていない。内蔵記録式のためリアルタイムで水深をモニターできないので、繰り出した錘ケーブルの長さから水深を判断し切り離しの命令を送っている。計測終了はターボマップの先端が海面に浮上したことで判断しているが、所定の時間（水深 25m で切り離した場合は約 1 分）を超えて海面に浮上しない場合は計測失敗とみなして再度計測を行った。測器が海面に浮上したことを確認したら、レリーサ（ケーブル）と収納容器、ロープ、測器の順にウィンチを使用して回収する。次の計測がある場合は、測器は船上には回収せずに海面で待機させてロープを容器に収納するようにし、それが終わったら再び収納容器と共にターボマップを海中に沈めて次の計測を行うようにした。ロープを巻き取って容器に入れる巻き取り装置のようなものを今回は用意していなかったので、ロープは手作業で容器へ収納した。

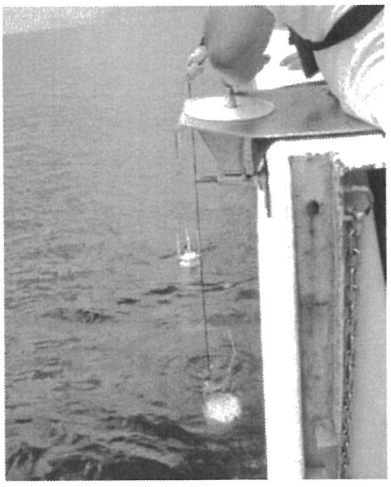

図 12,13,14　観測の様子（左から測器投入時、収納容器投入時、回収時）

実際に収納容器を用いて観測を行ったところ、ケーブル同士が絡むということがなくなったため計測失敗の頻度が大きく減少した。特に、風が強いときや波が高いときは 2 本のケーブルが絡まないように錘を投入するのも一苦労であったが、レリーサケーブルを容器やターボマップとともに沈めるだけとなったので計測が容易に行えるようになった。また、副次的な効果であるが内蔵記録式にしたことで PC から計測開始と終了の命令を送る必要がなくなり、ターボマップ観測に必要な人員の削減にもつながった。リアルタイムで深度や浮上速度をモニターできないので計測失敗などの判断が難しくなると想定していたが、海面まで浮上するのに必要な時間を計ることで特に問題なく作業を実施することができた。ただ、頻度はかなり減少したものの、何度か容器内でロープが絡まって失敗することがあった。蓋の窓が小さかったためそこで詰まってしまったようである。

6．おわりに

上昇式ターボマップに取り付けるロープ収納容器の製作を行った。実際に観測で使用したところ、計測失敗の頻度が減少し、観測作業の効率化につながった。それでも何度か容器の中でロープが絡まり、計測が上手くいかないことがあった。ロープが容器から出る際に蓋にある窓の部分で絡まるケースが何度かあったため、窓を大きくした蓋に取り替えることを検討している。また、今回はロープを容器に収納する際に手作業だったが、次回は電動機などを使って自動でロープを巻き取って容器に入れるものを用意したい。蓋の開閉についても作業効率化を考えて開閉が簡単に行える掛金を取り付けたが、船員の方が振動などで外れることを心配して別に固定用の針金を取り付けた。自分では振動などで外れないように製作したつもりであったが、船員の方には心許なく見えたようだ。そのため、開閉に少し時間がかかるようになってしまった。次は、開閉を素早く行うことができ且つ見た目にも十分外れないと分かるような構造に改良したい。

謝辞

製作に関して多くの助言を頂いた技術補佐員の丸林賢次氏、水槽での試験に協力して頂いた技術職員の野田穣士朗氏、技術補佐員の稲田勝氏にお礼申し上げます。また、製作の機会を与えて頂いた京都大学の吉川裕准教授（元応用力学研究所海洋力学分野准教授）にもお礼申し上げます。