

## 大水深への没水型ケーソン据付工法の開発 —超音波式水中位置計測装置による据付—

宮崎 忠\* 佐藤 隆\*  
及川 建二\* 田島 昌則\*\*  
佐野 泰三\*\*

### 要 旨

G P S方式を利用した計測システムが開発されるなか、多くの現場で運用されるようになった。

このたびの釜石港湾口防波堤築造工事における大水深ケーソン据付は、連続性をもった施工が要求され、かつ没水型（潜堤）ケーソンであるため、着底時の位置把握が必要とされる。

このような状況をふまえ、当港においてケーソン基礎マウンドの捨石均し管理実績のあるG P Sを導入して、ハイブリットケーソンの据付における水中位置管理システムを開発した。その結果、次の成果が得られた。

- (1) 着底時の位置記録と着底後のダイバー検測結果とを比較すると誤差が30cm以内であった。
- (2) 既設と設置ケーソンの両方が同時に位置出し表示され、相互関係を確認しながら安全にケーソンを設置できた。

本報では、本システムの精度確認と導入成果について報告する。

### 1. まえがき

釜石港は、津波対策として最大水深-63.0mの湾口部に延長2kmの防波堤が建設中である。

今回の工事は、防波堤中央開口部の300m（完成時は航路としての利用）を建設したものであり、海底面から-32.0mまで割栗石で構築したマウンド上へ、陸上ヤードで製作したハイブリットケーソン（L20.0m×B13.0m×H13.0m、重量830t）10函を大型起重機船（全旋回1,600t吊）を使用し、連続的に据付けた工事である。

ケーソン据付場所は、陸から遠距離にあり、測量条件も悪く、濃霧の発生が予測された。このような状況下において、実績のあるG P S方式を採用することで精度確保に努めた。

また、海面下に没し、沈設開始から状況を直接視認することができないため、ケーソン挙動を測量しながら安全かつ精度（法線±1.0m、目地間隔2.0m以内）を確保する必要があった。

この解決方法として、超音波式位置計を組合せ、既設ケーソンとの相対位置を把握しつつ、所要の精度で沈設できるシステムの実験を行ない、施工管理へと導入していった。

- ①G P S測量確認試験
- ②センサー精度の確認試験
- ③システムの総合試験

本報は、以上の調査・実験の結果を報告するとともに、湾口防波堤におけるG P S超音波式水中位置計測装置を用いた施工管理自動化システムの実用実績をまとめたものである。

### 2. 船位計測装置及び超音波式水中位置計の原理

#### 2. 1 リアルタイムキネマG P S (RTK-GPS)による起重機船の測位

船位計測装置は、起重機船の所定点をG P Sで測位し、ジャイロコンパスの方位及びピッチ、ロールデータで補正計算し、船の位置と方位を測量する。表-1にG P S測位方式の分類及び特徴を示す。

#### 2. 2 超音波式水中位置計によるケーソン位置決め

超音波式水中位置計測装置は、原理上精度の良いショート・ベースライン方式（S B L方式）を採用した。

この方式は、図-1の原理図のように海中の超音波発信源（送波器A）から発射された超音波パルスを、船底の所定点3ヶ所に取り付けた超音波受波器（P、Q、R）で同時に受け、その伝搬時間に音速を乗じて受波器（P、Q、R）から送波器Aまでの3距離を計測する。受波器（P、Q、R）の位置は、船位計測装置で測量された座標既知点なので、3距離の交点を方程式で解くことにより、送波器Aの座標を計算できる。

\*東北支店 \*\*機械部

表-1 GPS測位方式の分類および特徴

	単独測位	相 対 測 位			
		ディファレンシャル方式	干渉方式		
			キネマティック方式	リアルタイムキネマティック方式	スタティック方式
機器配置	受信機1台	固定局受信機1台と移動局受信機（無制限）			
精 度	数十m程度	静止時 1m程度 移動時0.5m程度	0.02m程度	0.02m程度	0.005 ~0.01m
特 徴	・リアルタイム処理が可能 ・サイクルスリップがない	・リアルタイム処理が可能 ・サイクルスリップがない	・リアルタイム処理不可 後処理で対応 ・サイクルスリップ時の初期化必要	・リアルタイム処理可能 ・サイクルスリップ時に移動初期化可能	・30分以上の受診と後処理で対応
適用分野	航行支援 カーナビゲーション	建設機械、船舶 位置の測量	陸上土木測量	陸上土木測量 海上土木測量	基準点測量 地核変動調査

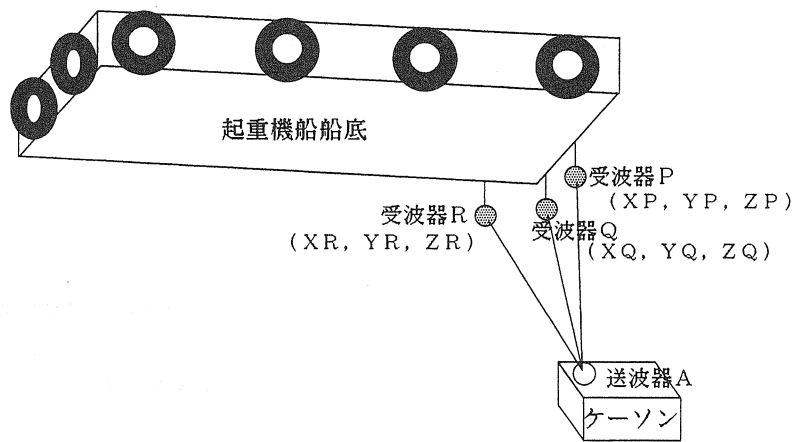


図-1 計測原理

3. 測量システムの実証実験

システム全体の機装が終了した時点で、GPS測量確認試験とセンサーのキャリブレーションを実施し、その後、システムの総合試験を実施した。実験場所は地形上GPS固定局情報を直接受信できないため、泉防波堤に無線中継局を設置した。

図-2 実験場所平面図（釜石港内）、図-3 システム概念図を示す。

3.1 GPS測量確認試験

3.1.1 測量方法及び結果

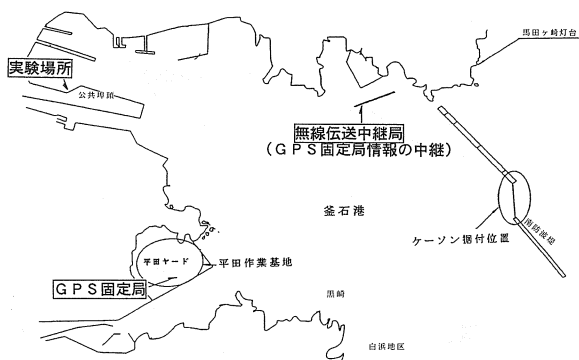
GPS固定局は、ケーソン据付位置から3km以内で、測量障害がなく作業上安全な場所を考慮し、平田作業基地内に設置した。GPS移動局を使用し、測点設置

とした。測点K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>をジャイロコンパスの方位確認試験に使用した。図-4にGPS測量ポイントを示す。

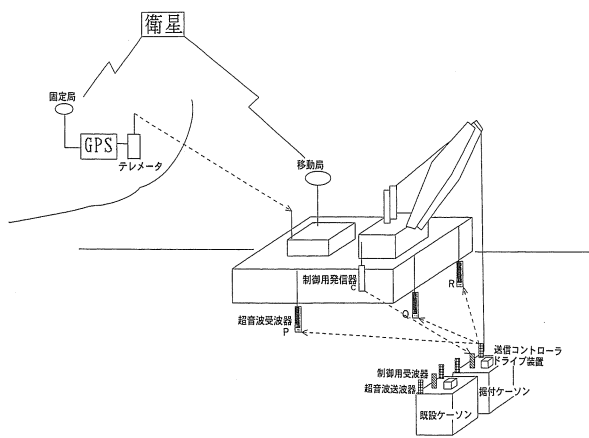
本工事における座標変換関係に基づき、測量確認試験を実施した結果、良好であり、GPSが使用できることを確認できた。

表-2にGPS測量結果を示す。

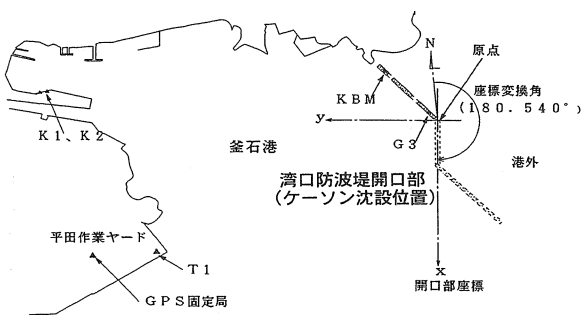
付近で座標が既知な基準点T1および、G3にて位置の精度を、仮水準点KBMにてレベルの確認をした。既設点相互の精度確認が行われていなかったため、施工管理上の許容精度を位置、レベルともに±10cmにした。このときのGPS測定値のバラツキは2cm以内であった。



図一 2 実験場所の平面図



図一 3 システム概念図



図一 4 GPS測量ポイント

表一 2 GPS測量結果

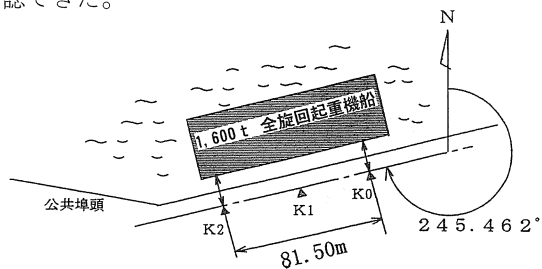
測点	既知点座標		GPS測量	測量差
	X	Y		
固定局	X	-82,721.141	—	—
	Y	92,123.287	—	—
	Z	7.962	—	—
T1	X	-82,696.870	-82,696.889	0.019
	Y	92,589.150	92,589.133	0.017
G3	X	-81,810.162	-81,810.226	0.064
	Y	94,901.029	94,901.089	-0.060
KBM	X	—	-81,359.439	—
	Y	—	94,404.414	—
	Z	4.163	4.123	0.040
K1	X	—	-81,032.288	—
	Y	—	91,617.857	—
K2	X	—	-81,049.030	—
	Y	—	91,581.184	—

### 3. 2 センサー精度の確認試験

#### 3. 2. 1 ジャイロコンパスの方位試験方法及び結果

公共埠頭-7.5m岸壁にて、GPSで測量したK<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>の座標点を利用し、現地離隔距離計算と、ジャイロコンパスの計測値を読み取り比較した。図一 5 に離隔距離計測を示す。

ジャイロ計測方位の試験結果では、実測との差が±0.05°以内であり、所定精度を確保していることが確認できた。



図一 5 離隔距離計測

表一 3 ジャイロ方位計測結果

	実 測 (岸壁方位 245.46°において)			ジャイロ 表示値 (α)	差 (β)-(α)	
	スタッフ計測値 (m)		船の方位 (γ)			
	K2	K0		岸壁からの方位		
1 回目	1.48	1.42	0.04°	245.50°	245.52°	0.02°
	1.54	1.63	-0.04°	245.42°	245.41°	-0.01°
	1.47	1.76	-0.20°	245.26°	245.27°	0.01°
2 回目	1.48	1.41	0.05°	245.51°	245.55°	0.04°
	1.47	1.43	0.03°	245.49°	245.53°	0.04°
	1.64	1.43	0.15°	245.61°	245.62°	0.01°
3 回目	1.46	1.41	0.04°	245.50°	245.52°	0.02°
	1.46	1.42	0.03°	245.49°	245.50°	0.01°
	1.49	1.41	0.06°	245.52°	245.53°	0.01°

3. 2. 2 超音波距離計測装置の精度確認試験  
方法及び結果

沖合停泊地、-30m水深において、キャリブレーション用超音波発信器を受波器P、Q、Rの直下に吊り下げ、スチールテープの読みと超音波距離計の計測値を比較した。

試験結果表-4のごとく、実測との差が±2cm以内であり、所定の精度を確保していることが確認できた。

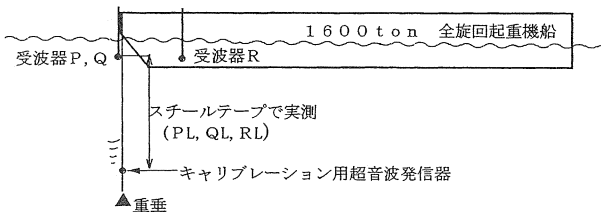


図-6 超音波距離計の計測

表-4 超音波距離計の試験結果

	測定位置	テープによる 実測 (m)	超音波距離計 計測 (m)	差 (m)	備 考
P	P <sub>L</sub>	10.00	10.00±0.01	±0.01	計測状態良好
	P <sub>Q</sub>	20.00	20.00±0.01	±0.01	
	P <sub>R</sub>	30.00	30.00±0.02	±0.02	
Q	Q <sub>L</sub>	10.00	10.00±0.01	±0.01	
	Q <sub>Q</sub>	20.00	20.00±0.02	±0.02	
	Q <sub>R</sub>	30.00	30.00±0.02	±0.02	
R	R <sub>L</sub>	10.00	10.00±0.01	±0.01	
	R <sub>Q</sub>	20.00	20.00±0.01	±0.01	
	R <sub>R</sub>	30.00	30.00±0.02	±0.02	

3. 3 システムの総合成績

公共埠頭-7.5m岸壁でシステム全てを作動させ、超音波送受器を所定の位置に誘導し、システムで計測した座標値と比較した。座標系はK<sub>2</sub>ポイントを原点に設定入力した。

総合試験の結果を表-5に示す。本工事では、送受波器の位置関係が約2.5倍の距離となり精度が±30cm程度となるが、このたびの測量精度で対応可能であることが確認できた。

表-5 総合試験結果

条件		実測(トランジット誘導)	システムの計測	測量差(m)
-15m	x 1	-16.00	-15.91	-0.09
	y 1	-15.00	-14.95	-0.05
	z 1	-7.00	-6.88	-0.12
-20m	x 1	-16.00	-15.88	-0.12
	y 1	-20.00	-20.12	0.12
	z 1	-7.00	-6.86	-0.14

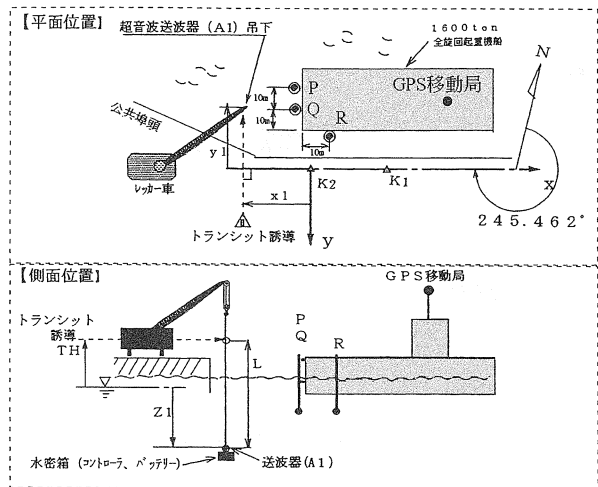


図-7 総合試験

4. RTK-GPS方式、SBL方式の実用化導入

このたびのシステム総合実験を検証のうえ、釜石港湾口防波堤築造工事の開口部ケーソン沈設にともなう自動計測施工管理システムとして実用化導入とした。

施工にあたって、システム機能構成の確認、2日間にわたる吊込み、据付作業手順での作動確認(図-8)(図-9)を行ない、本工事での各種データの活用を試みながら、検証実用化としていった。

本システムでの施工管理上各種データ活用としては、

- (1) 起重機船の位置入れ
  - ・沈設場所での係留位置への誘導管理
  - ・ケーソン据付位置への誘導管理
- (2) ケーソンの沈設と据付時
  - ・法線に対する出入り管理
  - ・既設ケーソンとの目地管理
  - ・ケーソン据付座標の登録
  - ・出来形管理

ケーソン据付時の沈設前における誘導表示例として写真-1位置決め表示画面(1)、写真-2位置決め表示画面(2)に示し、沈設中のケーソン相対位置表示例を図-10に示す。

本システムを導入したことにより、新たに次のような成果が得られた。

- (1) 着底付近では潮流によりケーソンの動揺が約2m程度に増すことが分かり、速やかに着底させることで安全なケーソン設置ができた。
- (2) 既設ケーソンも同時に位置出しするようにしたので、施工ケーソンとの相対精度が極めてよかった。

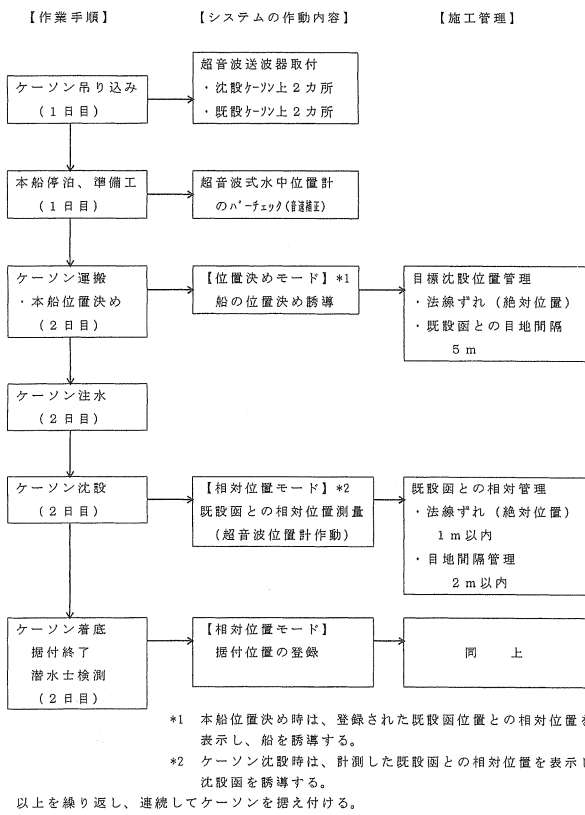


図-8 据付作業における施工管理の流れ

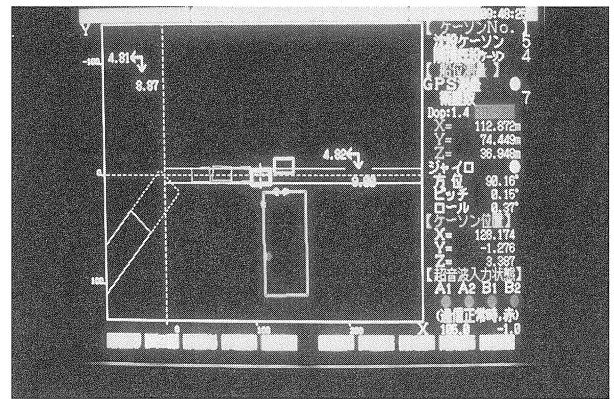


写真-1 位置決め表示画面(1)

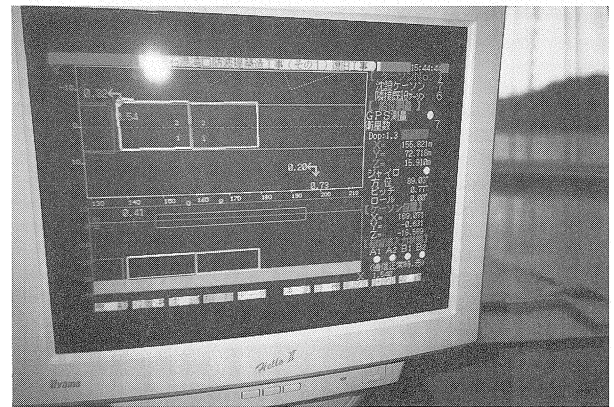


写真-2 位置決め表示画面(2)

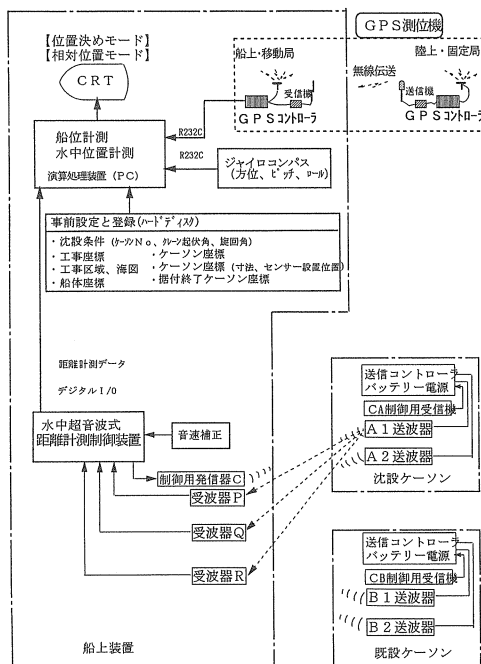


図-9 全体システム図

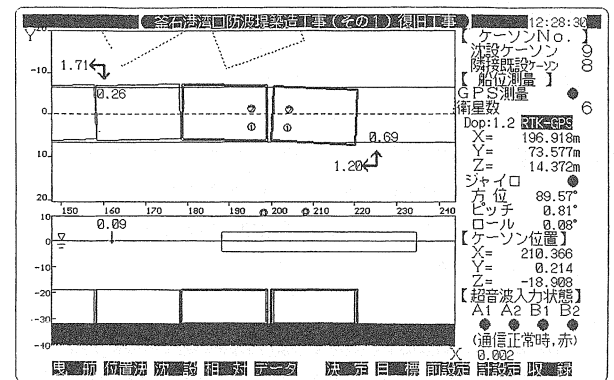


図-10 着底後 (CRTコピー)

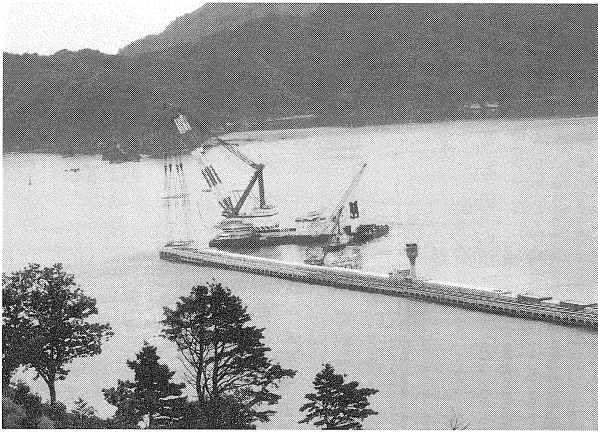


写真-3 ケーソン沈設状況

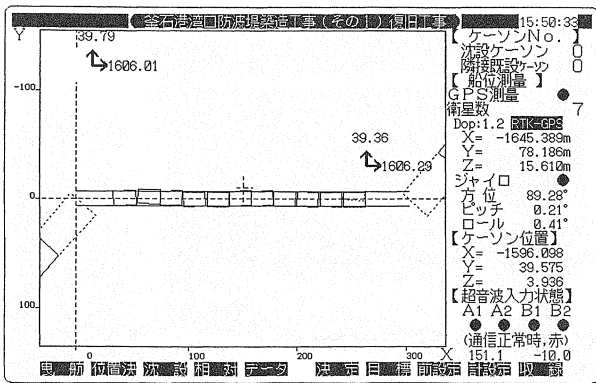


図-11 全函沈設終了時平面図 (CRTコピー)

今回の導入は、安全性にも重点を置き、しかも作業効率をあげることができたと考える。又、従来方法（自動追尾光波位置計）とでは次のような問題点が考えられる。

- ①自動追尾光波位置計では、障害物、雨や霧による失追尾、測量員の常駐増がある。
- ②自動追尾光波位置計では、他の作業船が視準の障害となり測量時に待機が発生し、作業効率が落ちる。
- ③自動追尾光波位置計では、作業船の輻輳区域において施工待機、稼働率の低下につながり工期遅延の要因となる。
- ④自動追尾光波位置計では、長距離測量時の保守作業に安全性が問題となる。濃霧時には、自船の作業位置関係が把握できず、不安全である。

施工管理上今回の導入システムは全てクリアする。この結果ケーソン沈設作業は、既設ケーソンとの相対位置を測量しつつ沈設位置を誘導し、潜水士での誘導

支援なしで安全な据付作業が出来た。

### 5. まとめ

今回開発支援採用となったシステムについては、従来の問題点をほとんどクリアし、安全・短期間での施工を可能とすることができた。

SBL方式によるケーソン水中部誘導管理については、沈設後の潜水士による検測比較でも実証データが得られ好結果となっている。

このたび安全施工技術として、既設ケーソンへのアイボールカメラ（水中テレビカメラ）の補助設置、開口部試験工事（第1函目）で採用した、水中部自動油圧切離装置等を併せ利用としたが、今後海上大水深における工事での本システム利用は、補助システムのタイアップにより拡張段階へとつながる。

### 謝辞

最後に、当工事における技術開発において、御指導、御協力を下さった発注者第二港湾建設局釜石港湾工事事務所工事課の皆様へ深く感謝申し上げます。