

## 付属資料一覧

付属資料 1 .....	付 1
9 GHz 帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用等に関する調査検討会設置要綱	
付属資料 2 .....	付 3
調査検討会構成員名簿	
付属資料 3 .....	付 4
オブザーバーおよび協力団体等	
付属資料 4 .....	付 5
調査検討会開催状況	
付属資料 5 .....	付 6
各実験で収集したレーダー画面	
付属資料 6 .....	付 38
ARPA 機能の設定	
付属資料 7 .....	付 39
実験 4 (ARPA 機能に対する干渉の調査) の結果	
付属資料 8 .....	付 66
SART に関するレーダー方程式	
付属資料 9 .....	付 67
捜索救助用レーダー・トランスポンダー	
付属資料 10 .....	付 71
固体素子レーダーの SART 信号に関する考察	
付属資料 11 .....	付 74
FMCW レーダーの SART 信号に関する考察	
付属資料 12 .....	付 75
図の一覧	
付属資料 13 .....	付 77
用語解説	
付属資料 14 .....	付 79
参考資料	



## 9GHz帯船舶用固体素子レーダーの 周波数共用等に関する調査検討会設置要綱

### 1. 目的

9GHz帯船舶用レーダーの増幅素子として、固体素子である「半導体素子」の導入にむけて、固体素子レーダーと既存のマグネトロンレーダーの周波数共用および干渉(混信)除去の効果等を確認する技術試験を行い、情報通信審議会の審議および技術基準案策定に資することを目的とする。

### 2. 名称

本調査検討会は、「9GHz帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用等に関する調査検討会(以下「調査検討会」という。)」と称する。

### 3. 調査検討事項

情報通信審議会情報通信技術分科会航空・海上無線通信委員会 船舶用固体素子レーダー作業班での検討を踏まえ、以下の事項等について具体的な技術試験、検証の内容、方法などを検討の上、実施し、その結果を整理・分析する。

- (1) 固体素子レーダーとマグネトロンレーダーとの干渉に関する検証
- (2) FMCW レーダーについて、同一周波数の運用によるマグネトロンレーダーとの干渉に関する検証
- (3) 船舶用固体素子レーダーによる、捜索救助用レーダートランスポンダ(9GHz帯)からの信号の探知に関する検証
- (4) 固体素子レーダー相互およびマグネトロンレーダーとの相互運用時のARPA(TT)表示精度に関する検証

### 4. 構成

調査検討会の構成は以下のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、信越総合通信局長の委嘱した委員をもって構成する。
- (2) 調査検討会に座長および座長代理を置く。  
座長は委員の互選によって選出し、座長代理は委員の中から座長が指名する。

### 5. 運営

- (1) 調査検討会は、座長が招集し主宰する。座長不在時は座長代理がこれを行う。
- (2) 調査検討会は、委員以外の者から意見を徴することが必要であると認めるときは、これを行うことができる。

## 付属資料 1

(3) その他調査検討会の運営に必要な事項は座長が定める。

### 6. 開催期間

平成25年6月から平成26年1月までとする。

### 7. 事務局

調査検討会の事務局は、信越総合通信局無線通信部企画調整課が担当する。

## 調査検討会構成員名簿

(氏名：五十音順 敬称略)

氏 名	主要現職
【座長】 山田 寛喜	国立大学法人新潟大学 工学部 情報工学科 教授
【座長代理】 林 尚吾	国立大学法人東京海洋大学 名誉教授
朝賀 一夫	佐渡汽船株式会社 情報企画課 課長
池田 文夫	上田日本無線株式会社 無線通信ビジネスユニット 無線制御技術部 次長
伊藤 秀文	株式会社光電製作所 設計部 設計2課 課長
北沢 弘則	株式会社K&A スペクトラムインテグレーション 代表取締役社長
黒森 博志	太洋無線株式会社 生産本部 技術部 副部長
澤岡 英夫	第九管区海上保安本部 総務部 総務課 情報通信企画室 室長
大 浩司	古野電気株式会社 技術研究所 研究部 研究PJ推進室 主任研究員
土屋 優	立信精機株式会社 技術担当 取締役
中村 宏	日本無線株式会社 海上機器技術部 航法機器グループ グループ長
南木 真一	東京計器株式会社 船用機器システムカンパニー技術部 第3技術課 担当課長
藤島 俊昭	一般社団法人全国船舶無線協会 信越支部 支部長
宮澤 義幸	独立行政法人情報通信研究機構 電磁波計測研究所 電磁環境研究室 主幹

(14名)

## オブザーバーおよび協力団体等

### 1. オブザーバー

- ・ 情報通信審議会情報通信技術分科会 航空・海上無線通信委員会  
船舶用固体素子レーダー作業班主任 中村 勝英
- ・ 総務省 総合通信基盤局 電波部 衛星移動通信課

### 2. 協力団体

- ・ 上越市漁業協同組合
- ・ 上越漁業協同組合
- ・ 名立漁業協同組合
- ・ 上越海上保安署
- ・ 上越市 農林水産整備課
- ・ 新潟県上越市有間川町内会
- ・ デイリーヤマザキ 上越谷浜店

### 3. 事務局

- ・ 総務省 信越総合通信局 無線通信部 企画調整課
- ・ NTT アドバンステクノロジー株式会社

## 調査検討会開催状況

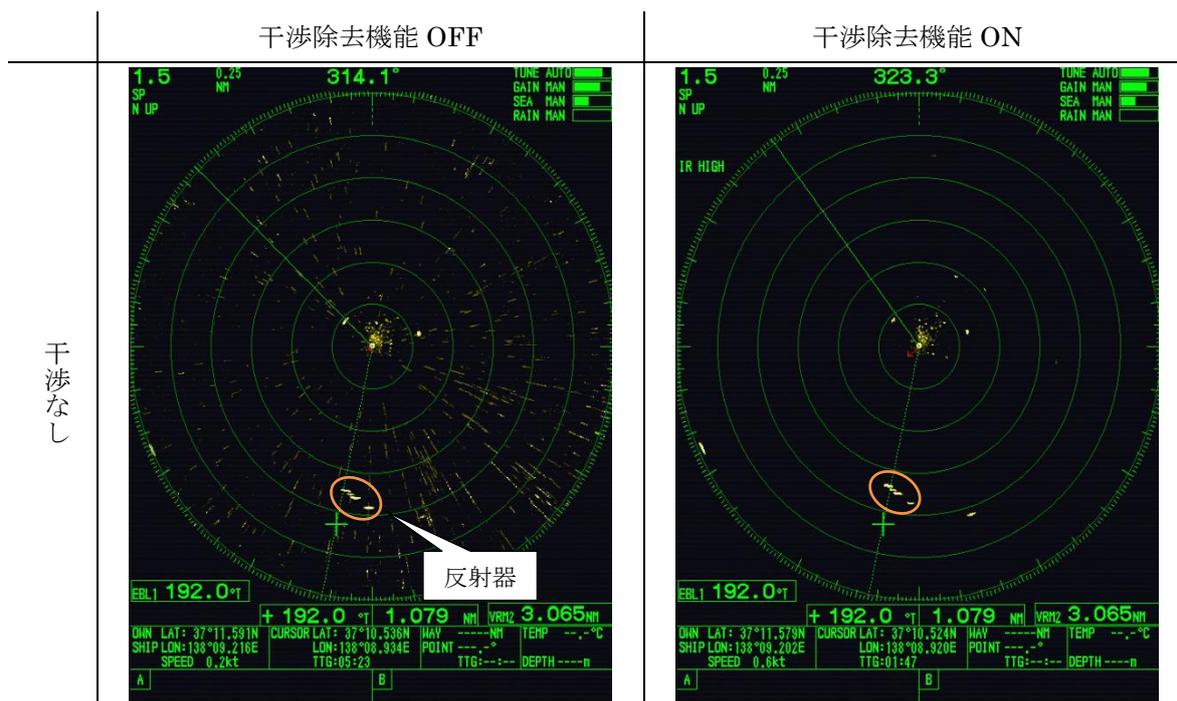
「9 GHz 帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用等に関する調査検討会」の開催状況および主な審議内容は以下のとおりである。

- ・第1回調査検討会 平成25年6月14日（金）
  - 調査検討会の開催要項、設置要綱について
  - 情報通信審議会における審議経過について
  - 検証項目と技術試験の概要について
  
- ・第2回調査検討会 平成25年8月5日（月）
  - 技術試験の概要について
  - 技術試験の公開について
  
- ・第3回調査検討会 平成25年11月25日（月）
  - 技術試験の結果について
  - 報告書について

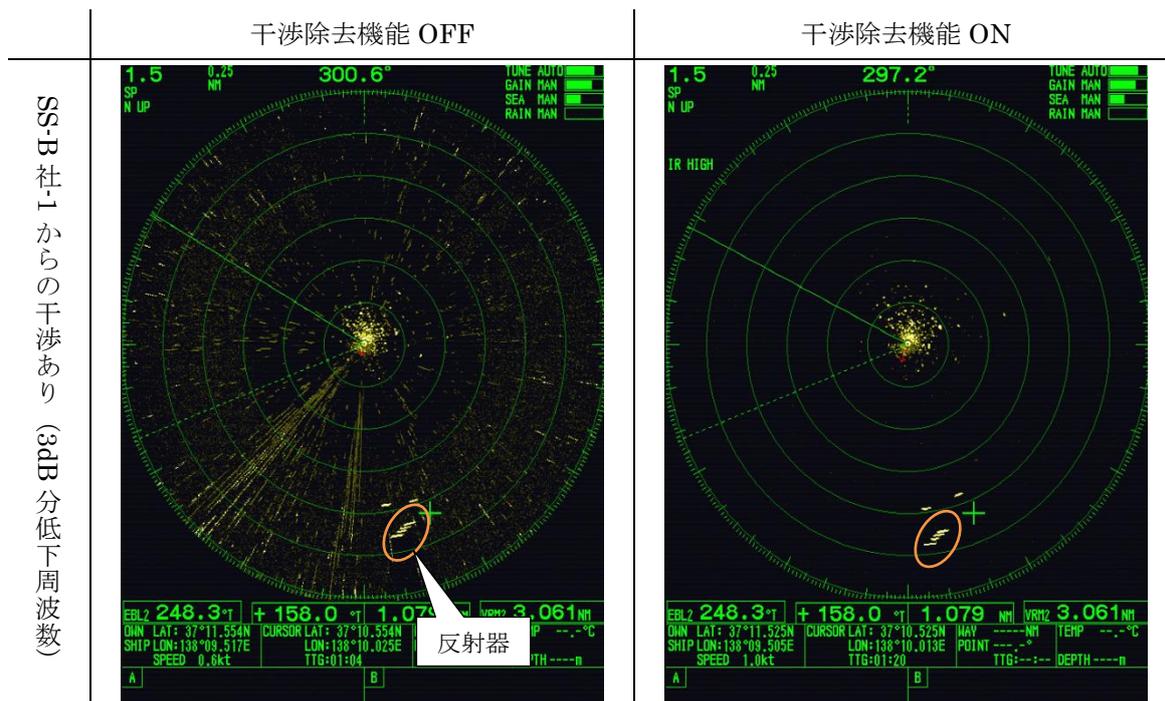
### 各実験で収集したレーダー画面

第 3 章 実験結果において、レーダー画面の一例を掲載していない実験項目について、以下に示す。

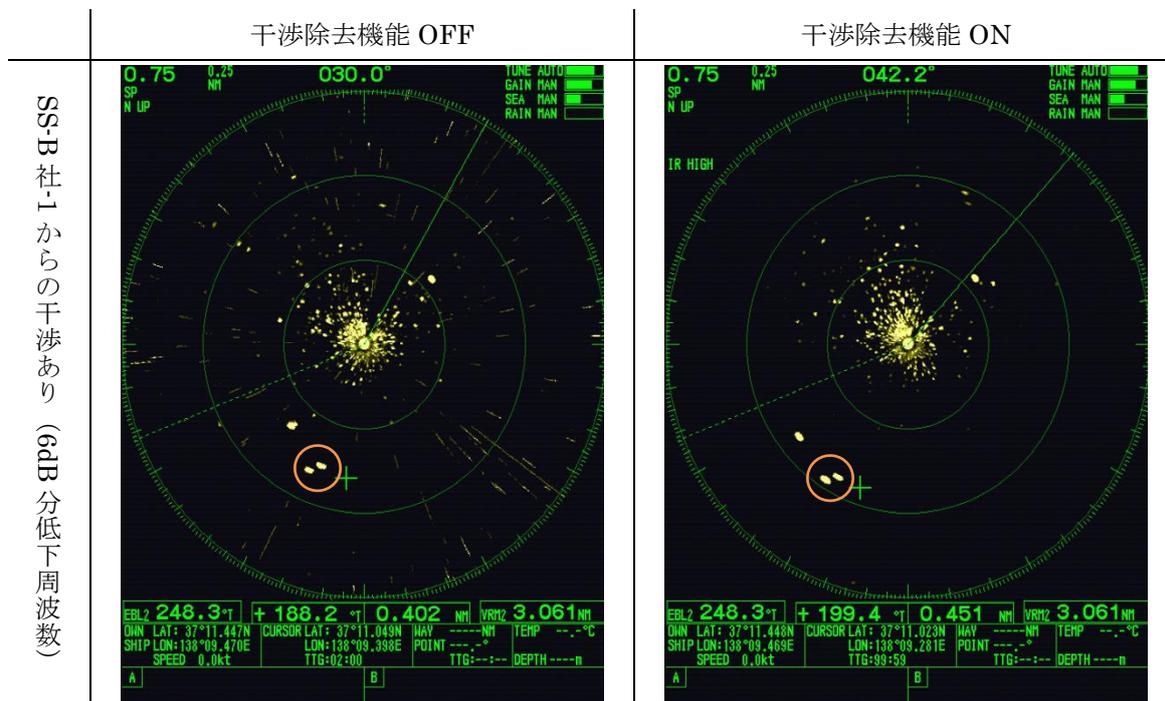
(1) 実験 2 固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査



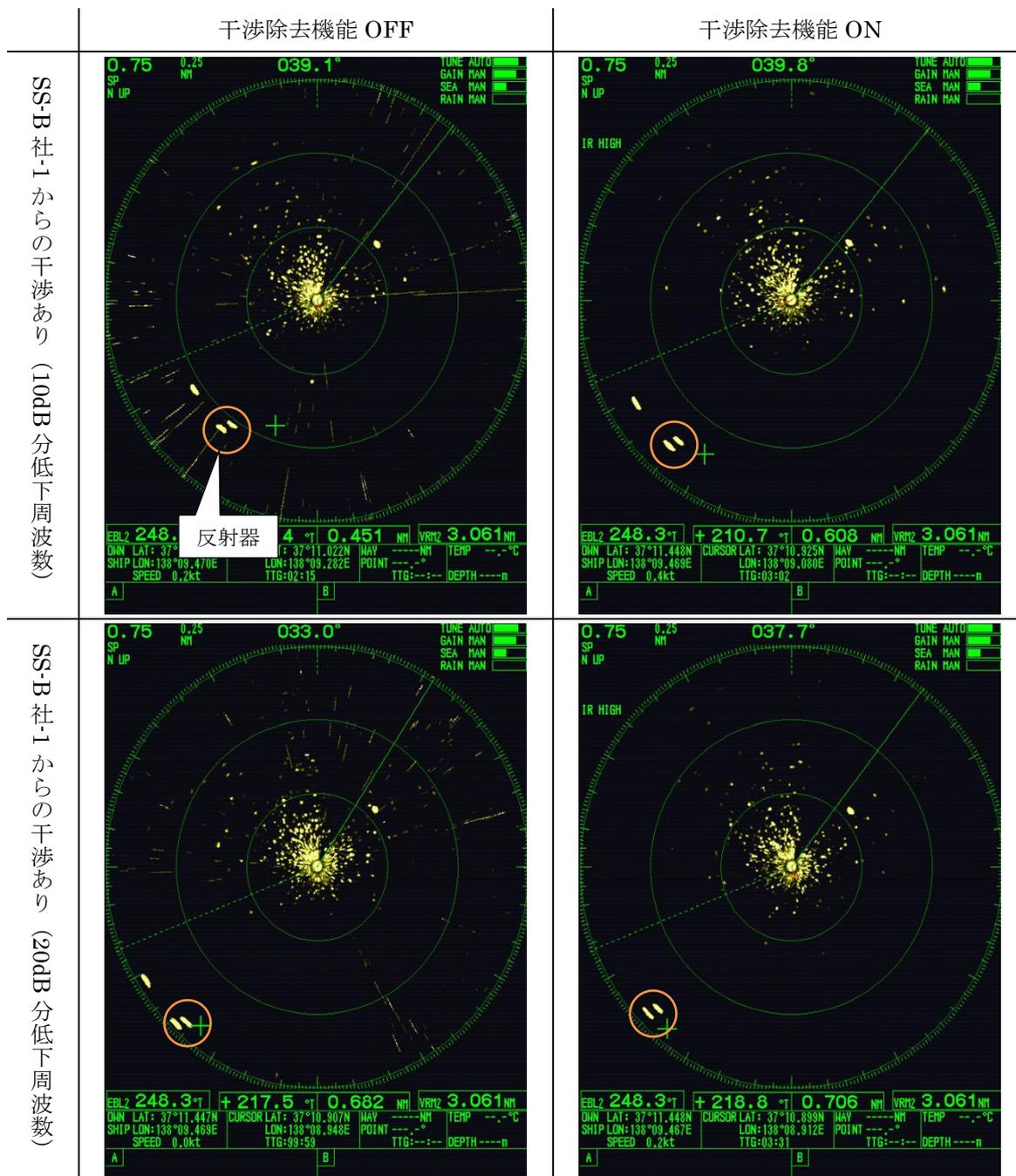
付図 5-1 実験 2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)



付図 5-2 実験 2-3 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)



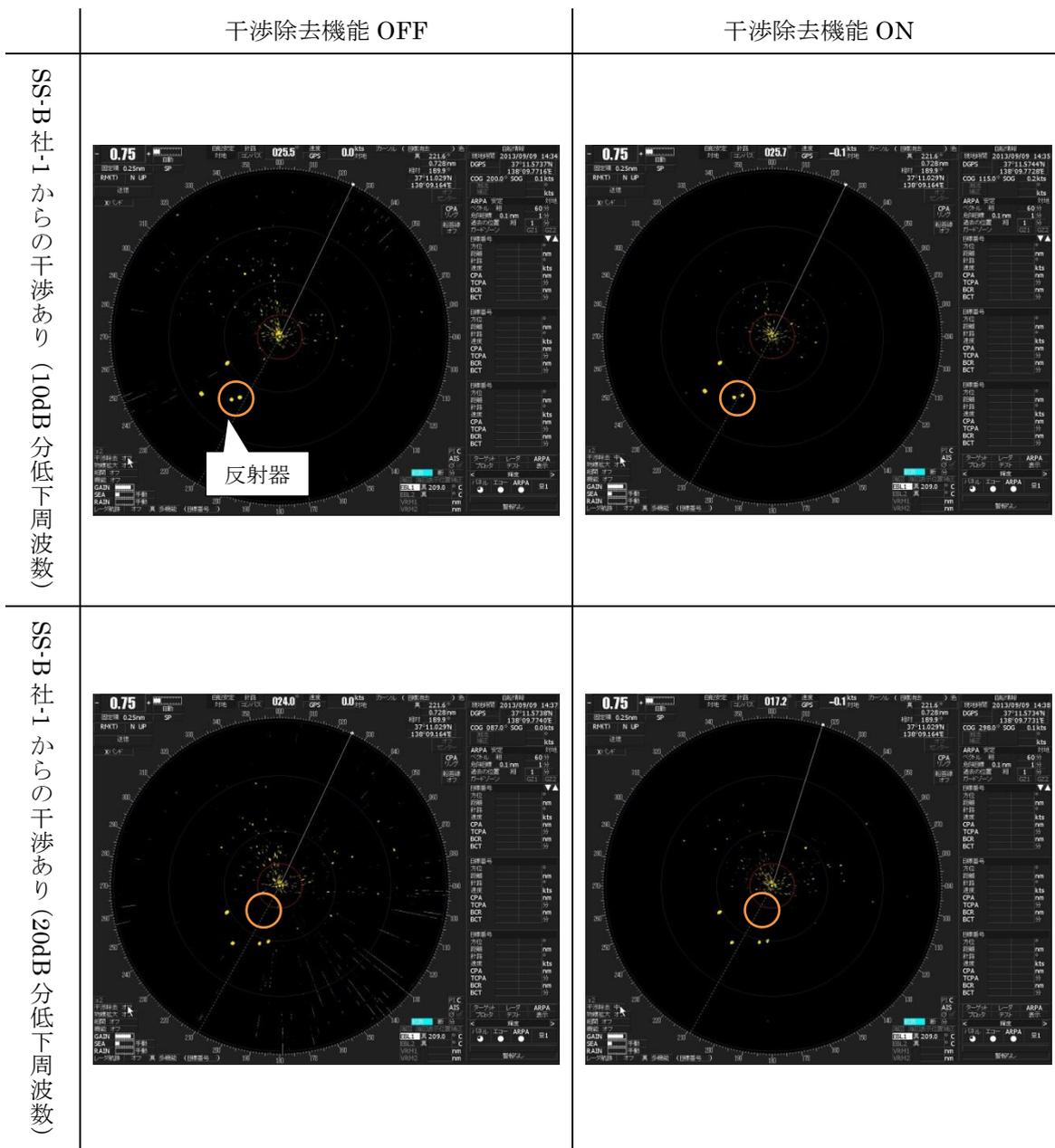
付図 5-3 実験 2-5 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)



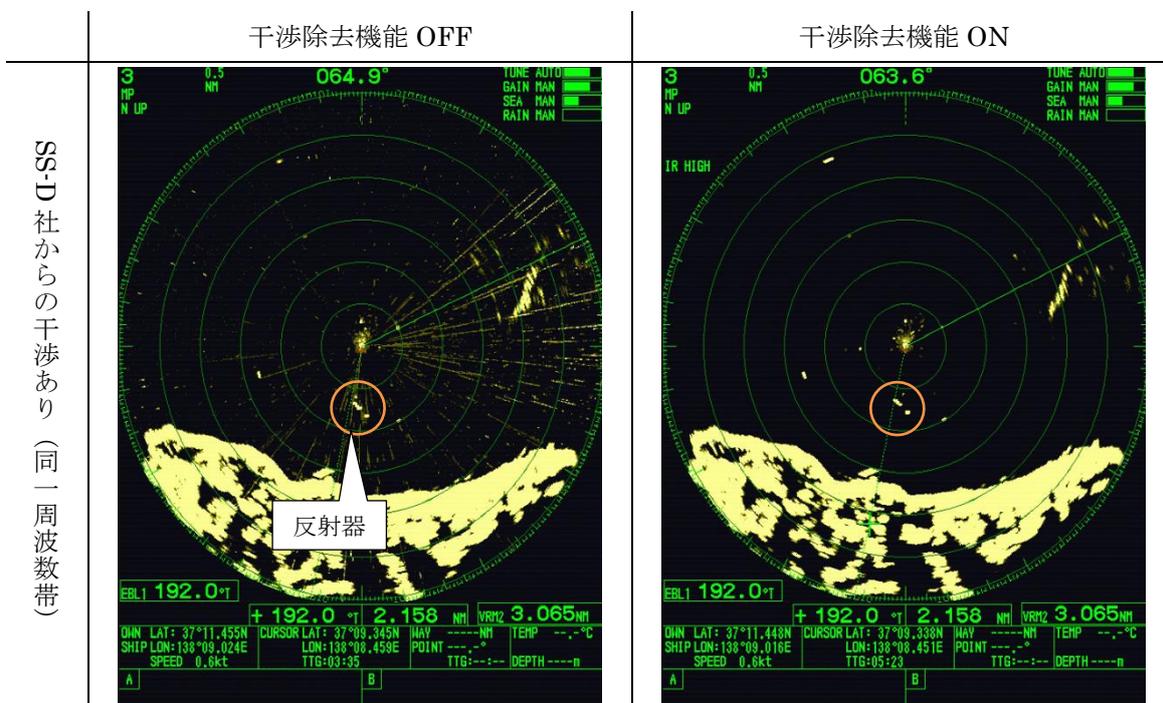
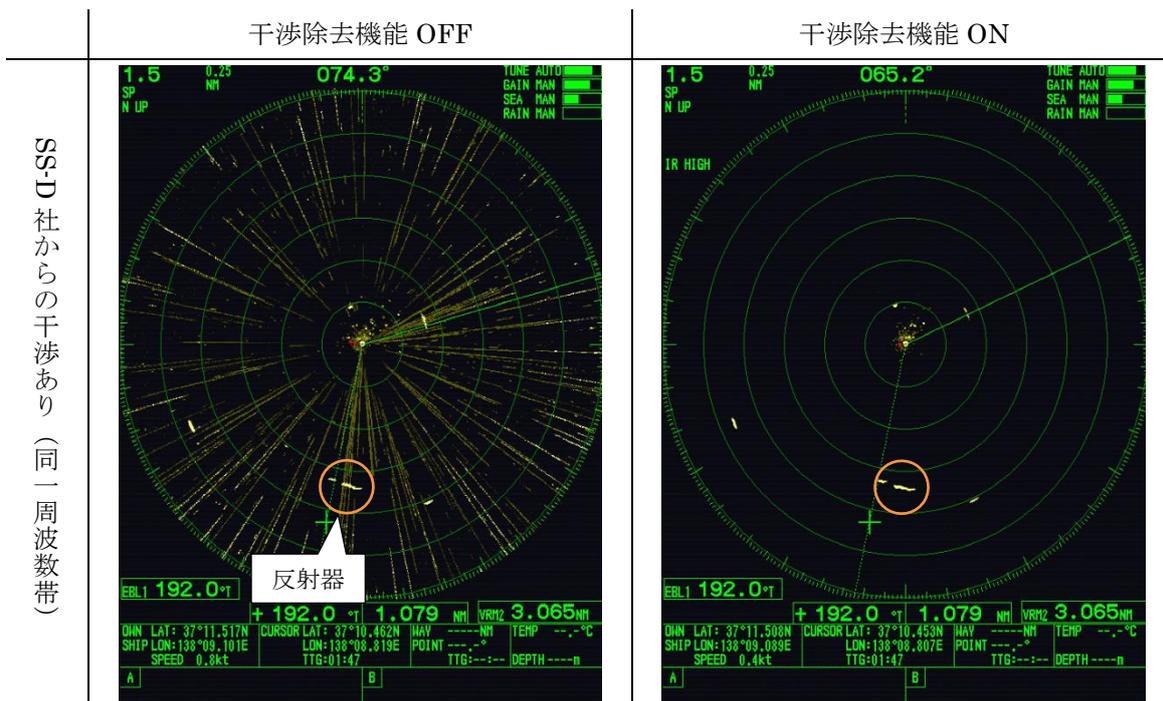
付図 5-4 実験 2-7,9 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)

	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
SS-B社-1からの干渉あり (3dB分低下周波数)		
SS-B社-1からの干渉あり (6dB分低下周波数)		

付図 5-5 実験 2-3,5 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)



付図 5-6 実験 2-7,9 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)



SS-D 社からの干渉あり (同一周波数帯)

干渉除去機能 OFF



干渉除去機能 ON



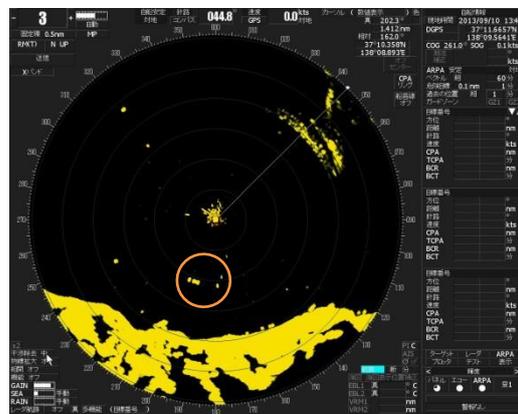
付図 5-9 実験 2-11 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

SS-D 社からの干渉あり (同一周波数帯)

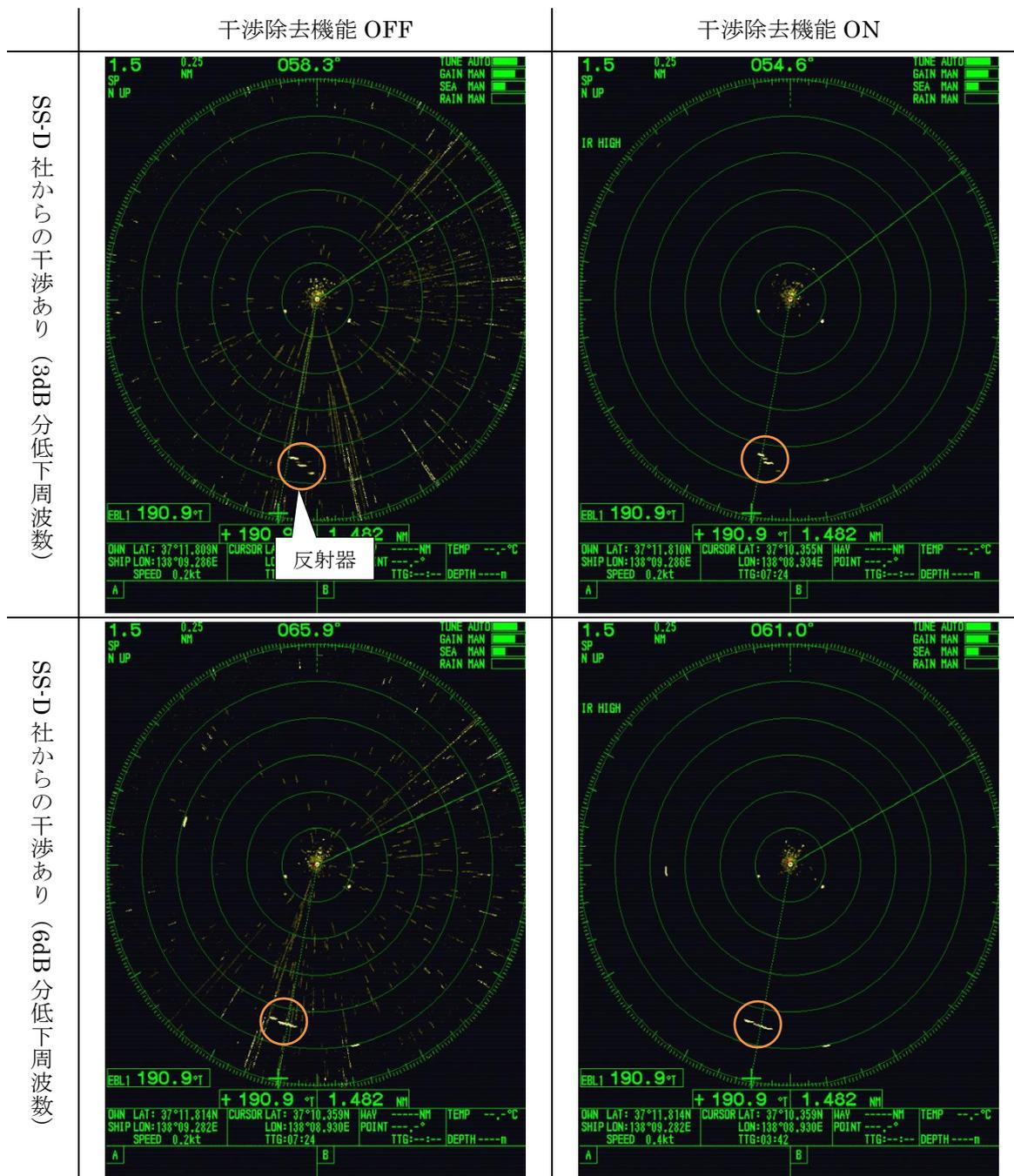
干渉除去機能 OFF



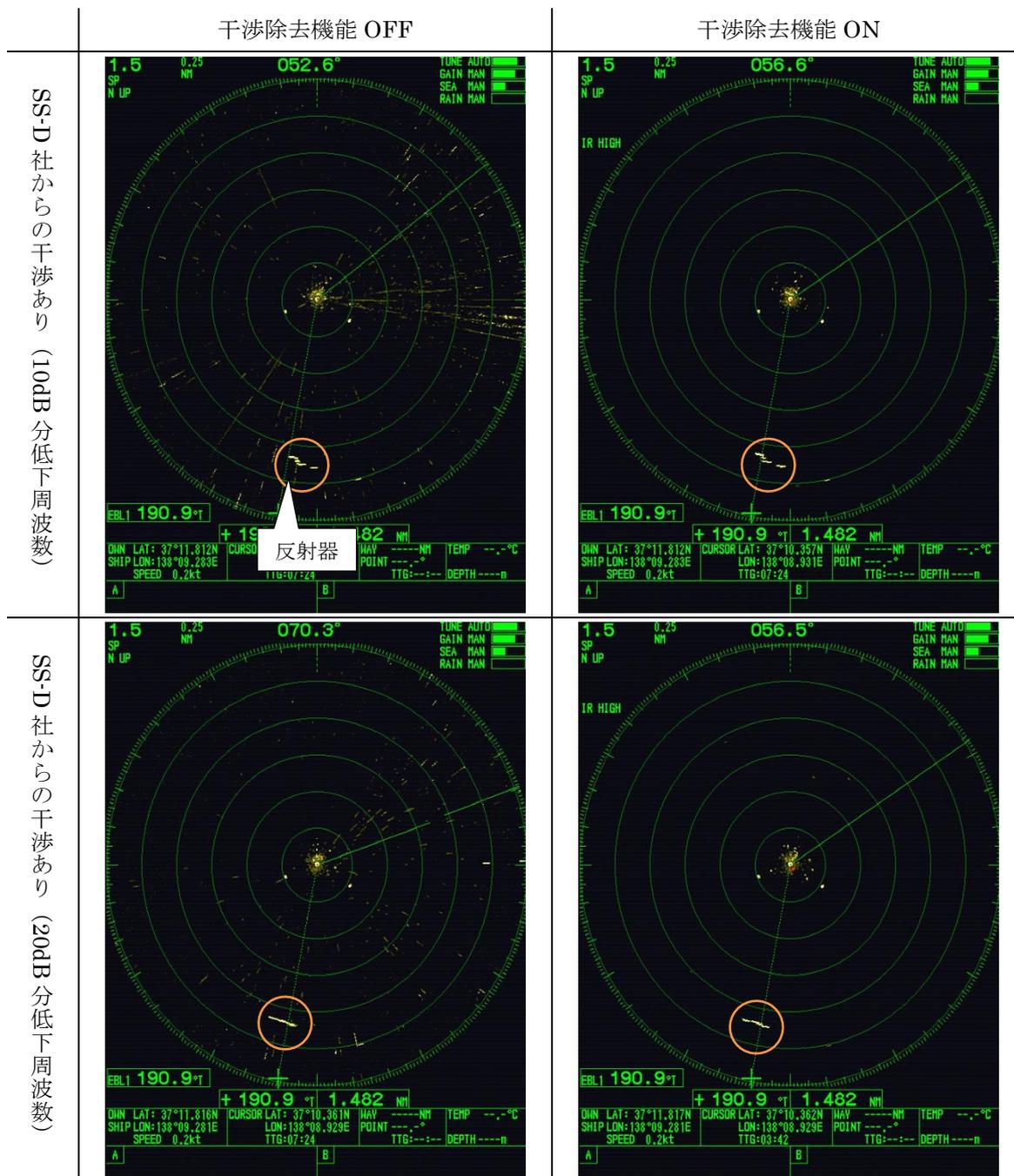
干渉除去機能 ON



付図 5-10 実験 2-12 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)



付図 5-11 実験 2-13,15 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)



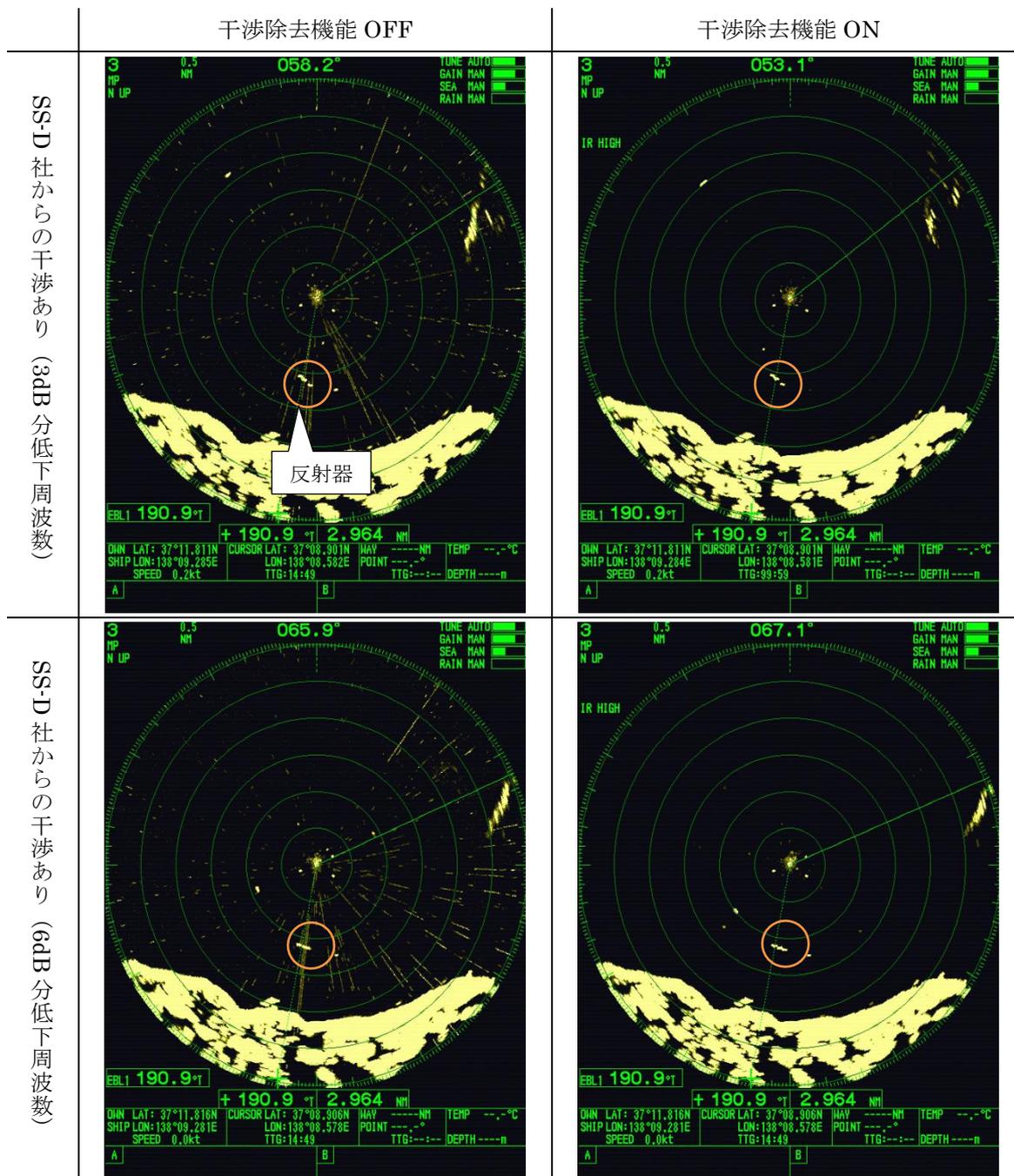
付図 5-12 実験 2-17,19 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)

SS-D社からの干渉あり(3dB分低下周波数)	<p style="text-align: center;">干渉除去機能 OFF</p> 	<p style="text-align: center;">干渉除去機能 ON</p> 
SS-D社からの干渉あり(6dB分低下周波数)		

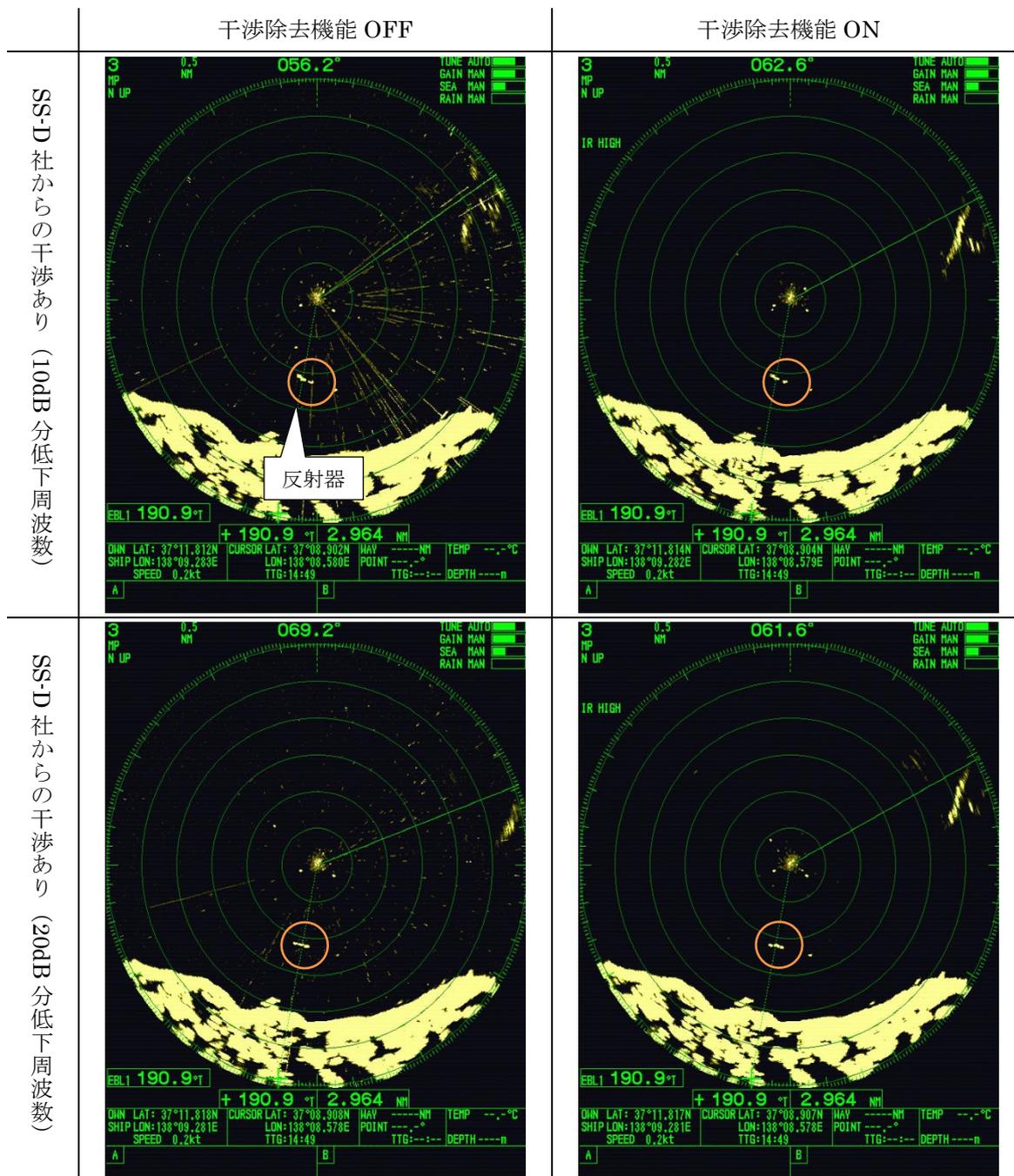
付図 5-13 実験 2-13,15 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
SS-D社からの干渉あり (10dB 分低下周波数)		
SS-D社からの干渉あり (20dB 分低下周波数)		

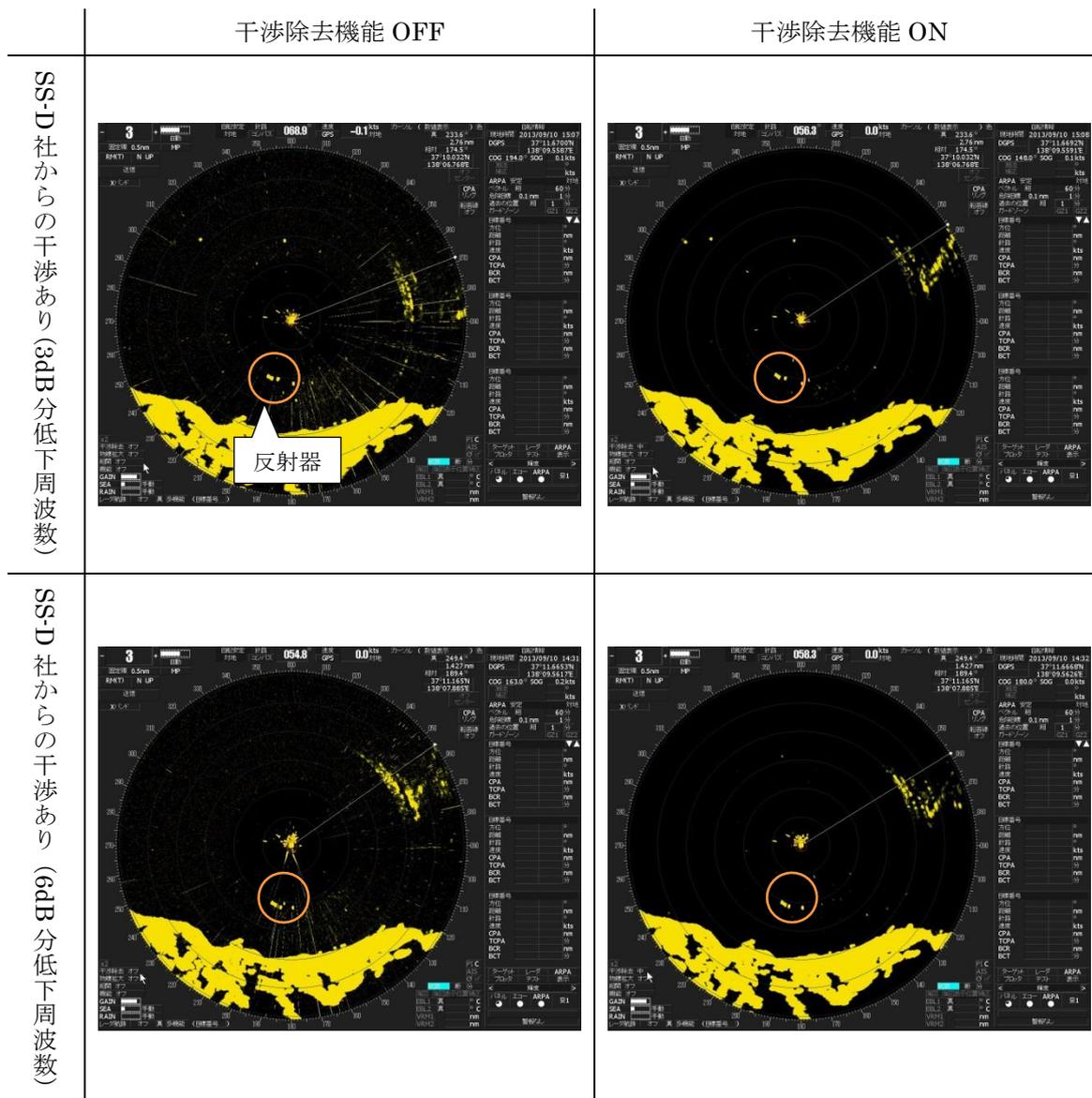
付図 5-14 実験 2-17,19 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)



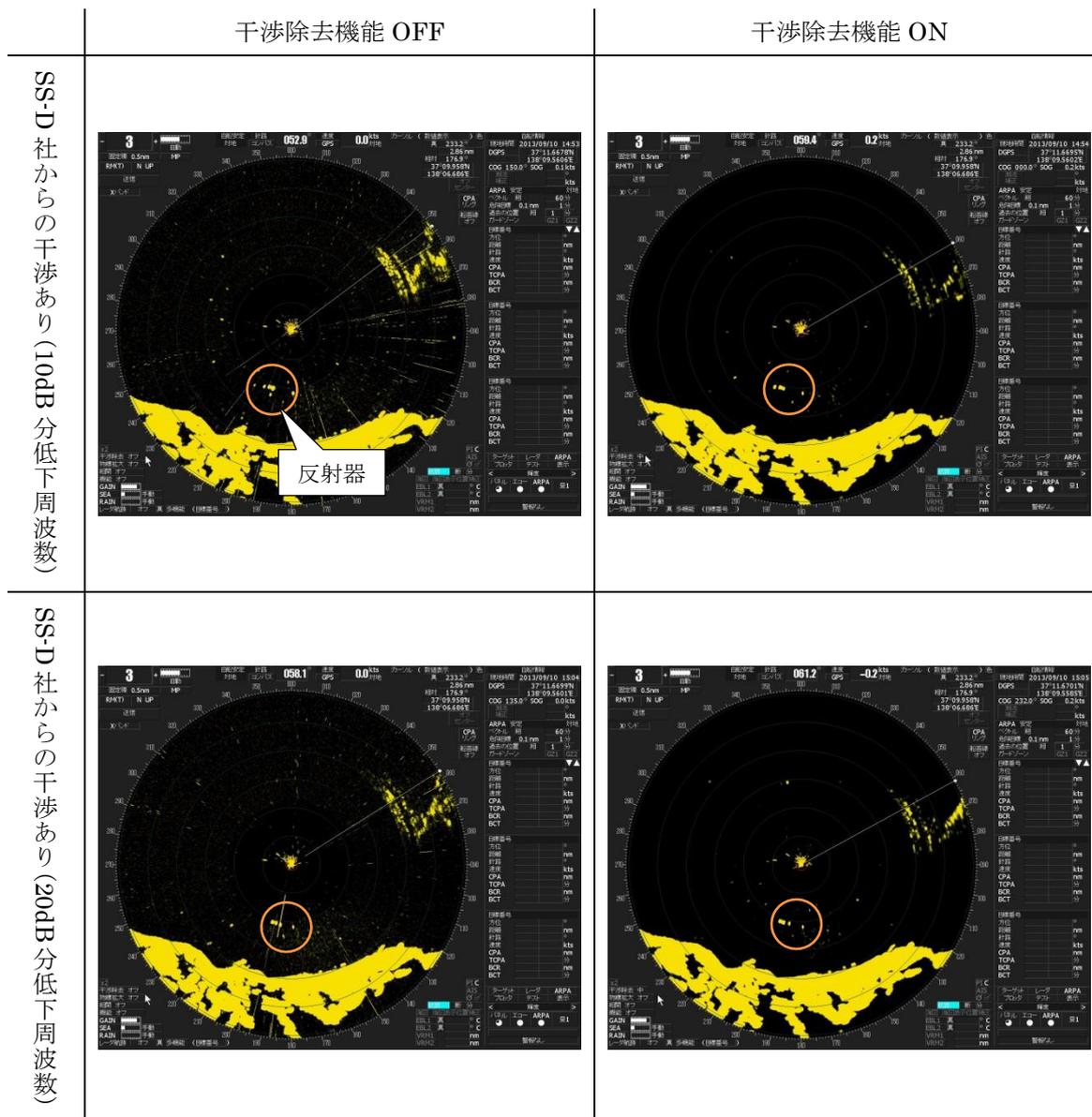
付図 5-15 実験 2-14,16 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)



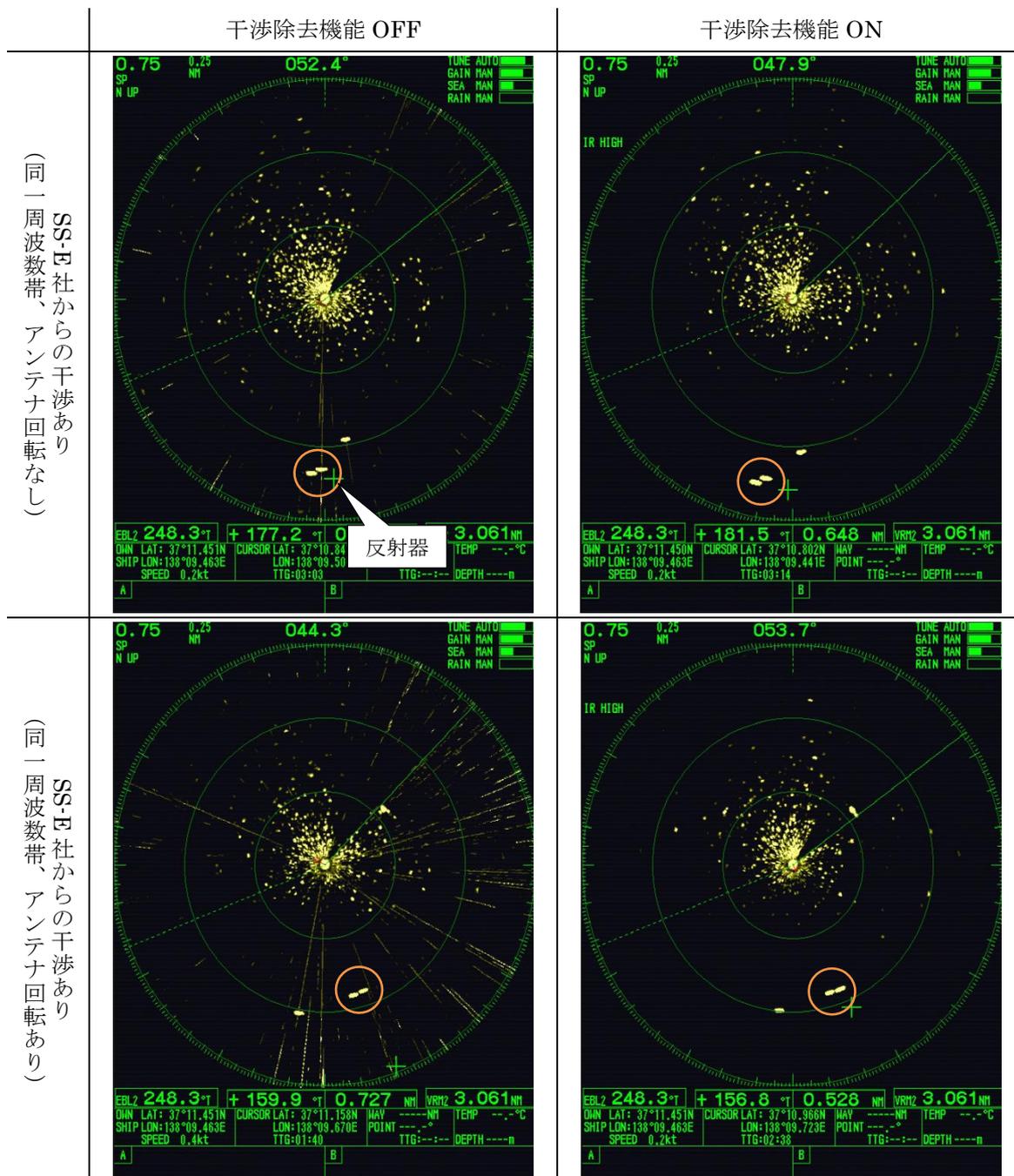
付図 5-16 実験 2-18,20 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)



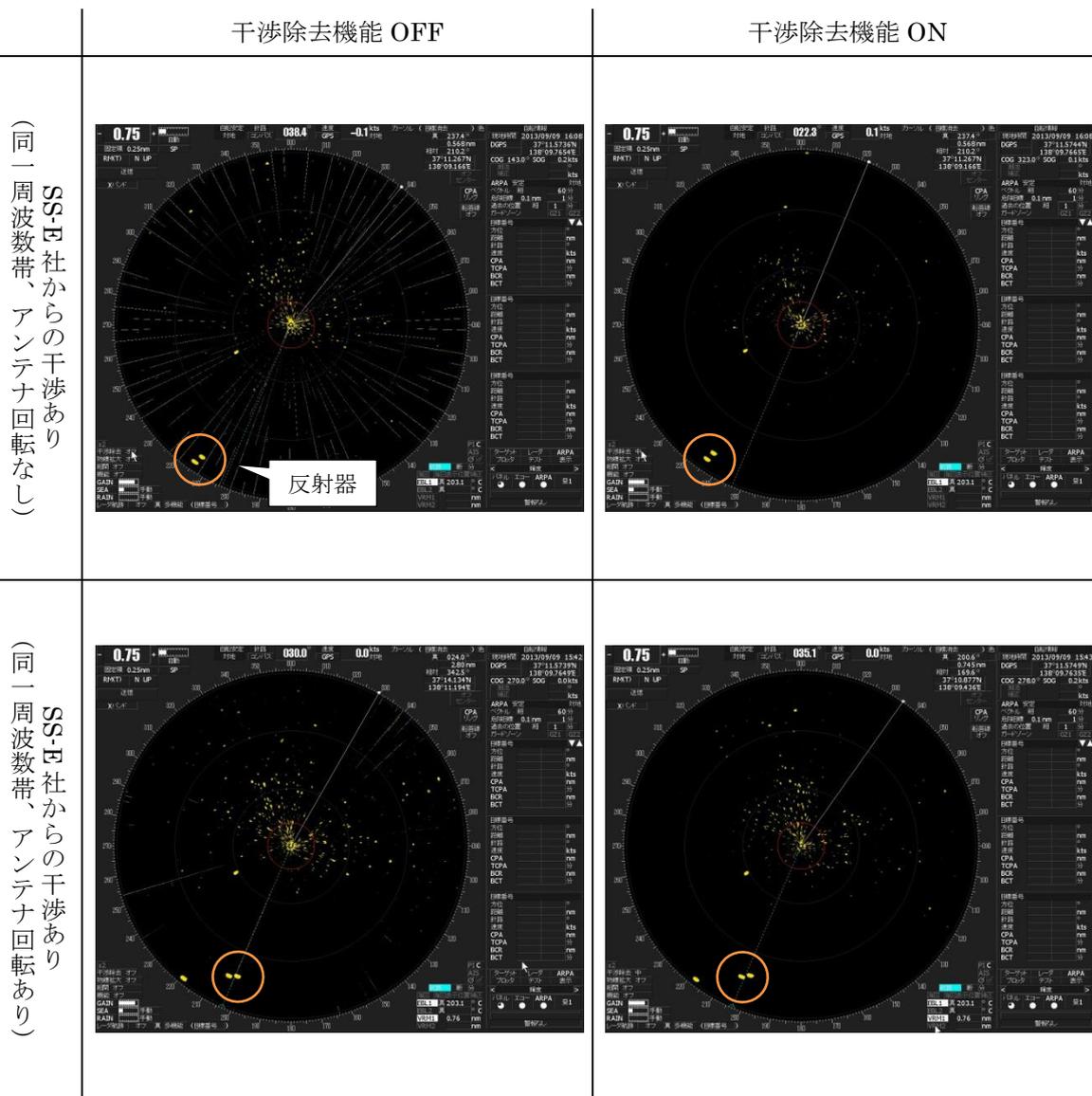
付図 5-17 実験 2-14,16 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)



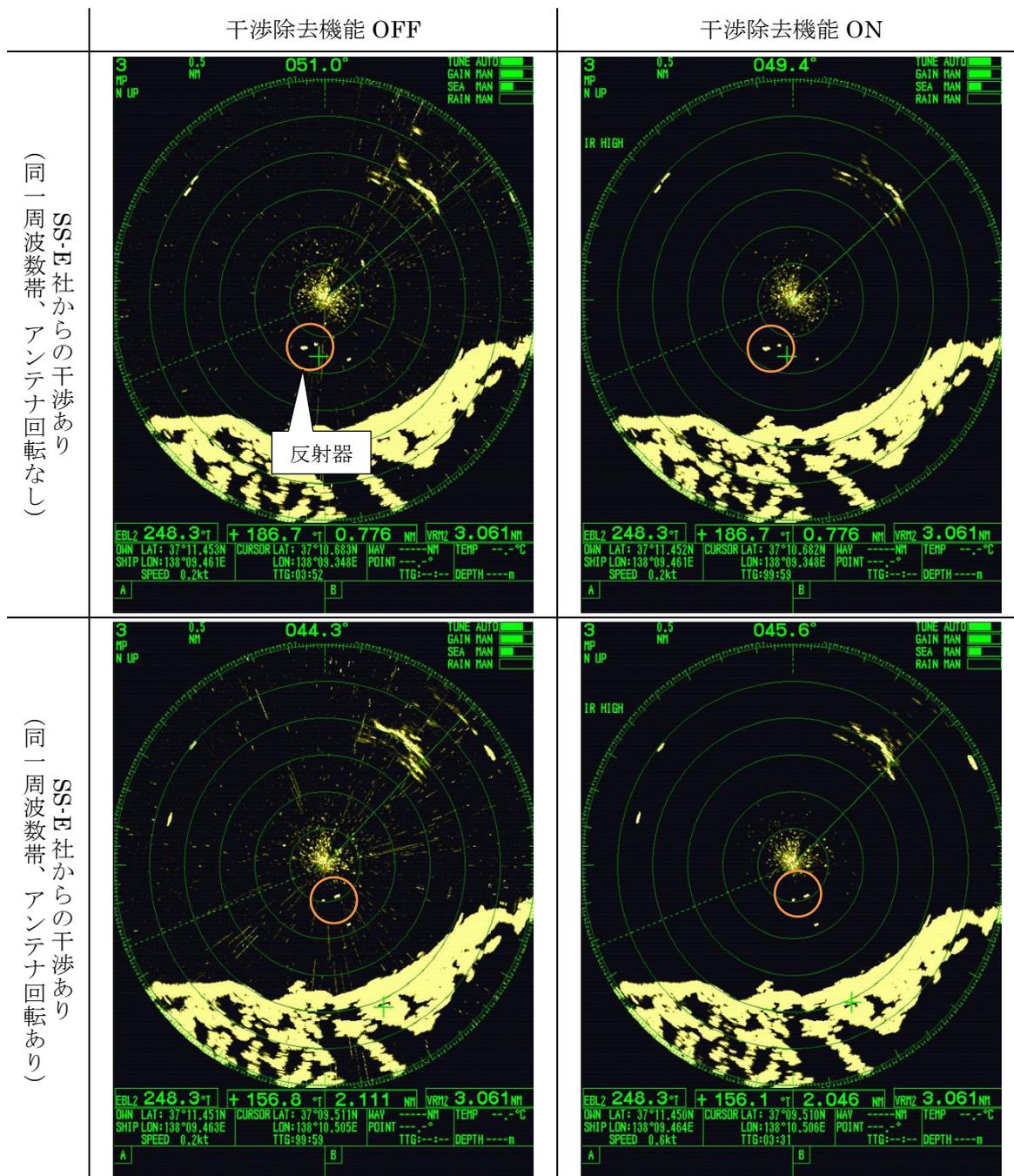
付図 5-18 実験 2-18,20 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)



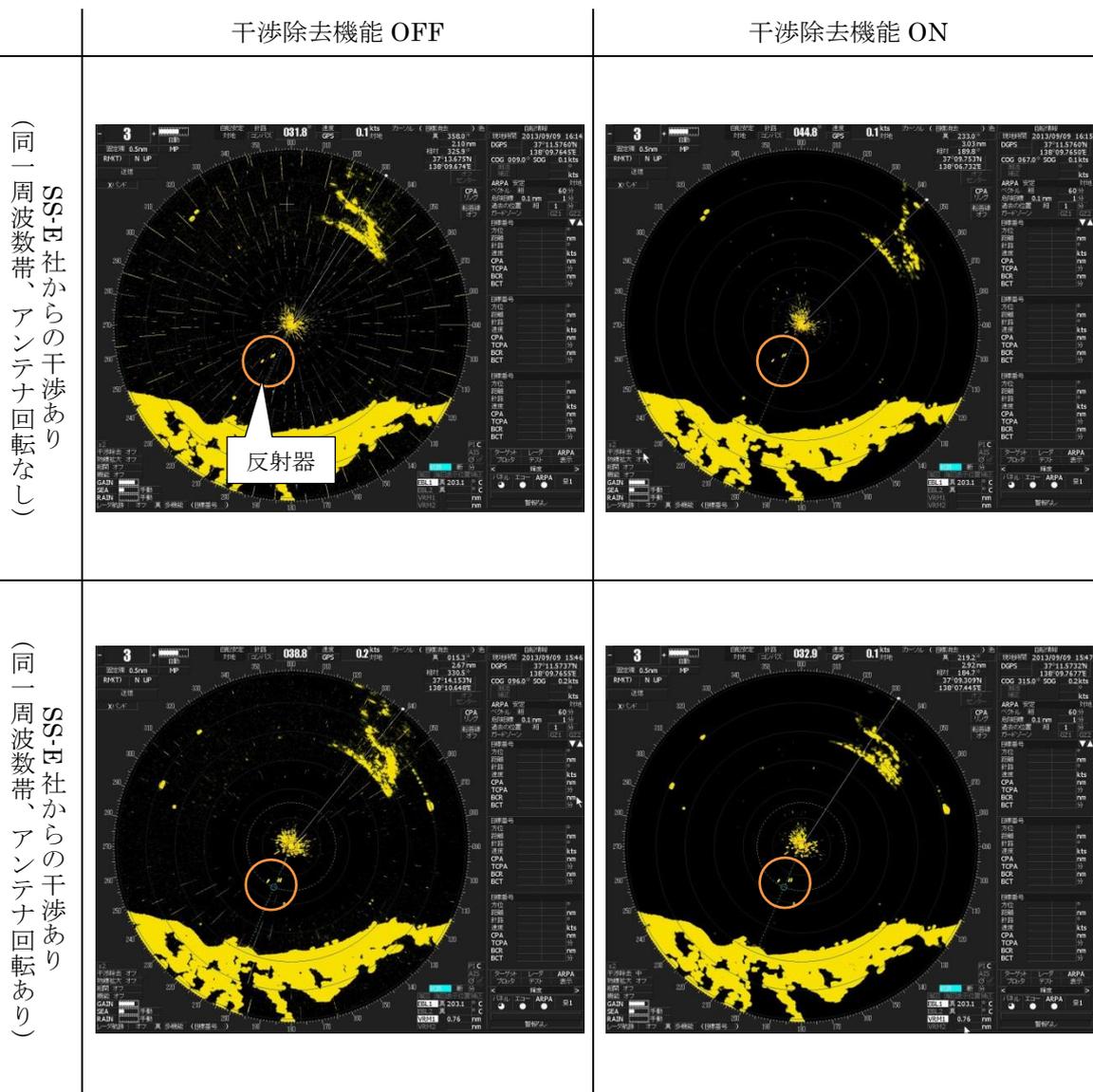
付図 5-19 実験 2-21,23 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)



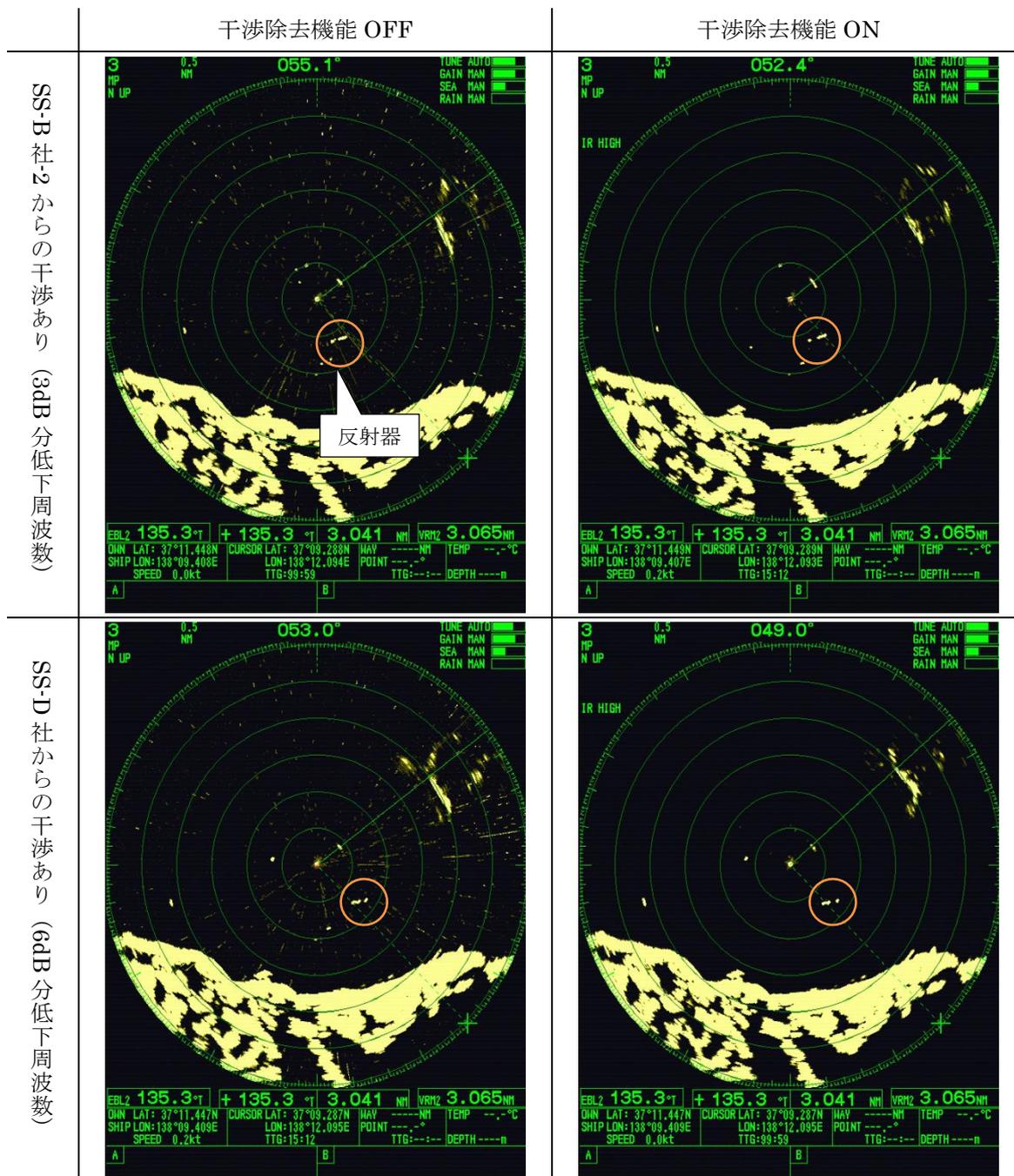
付図 5-20 実験 2-21,23 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)



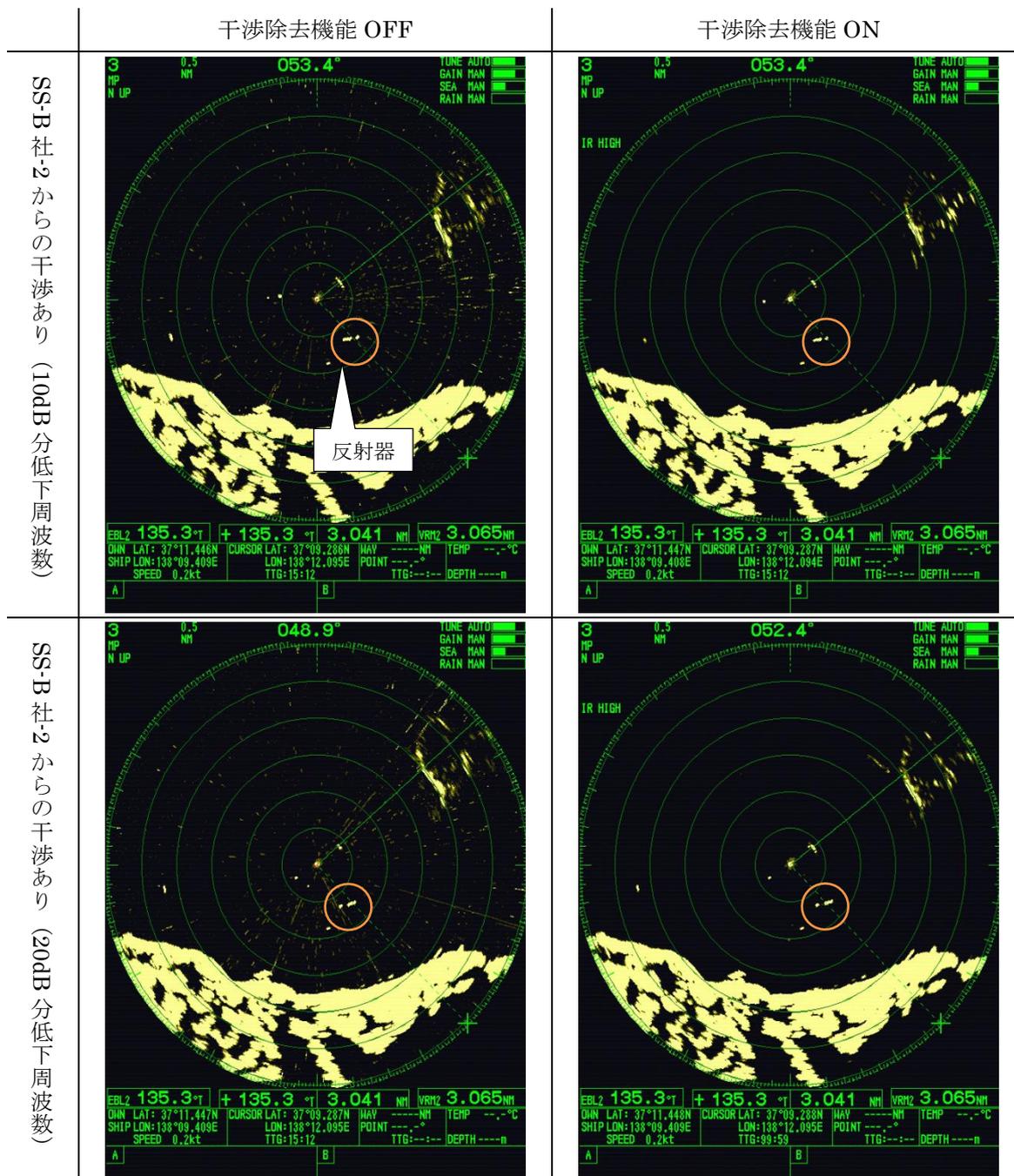
付図 5-21 実験 2-22,24 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)



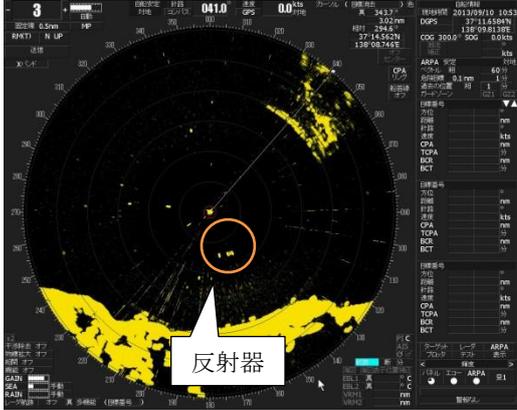
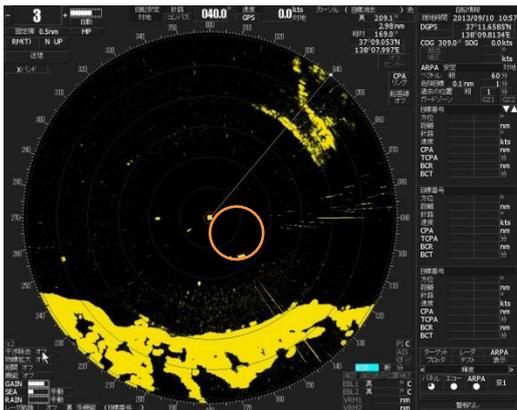
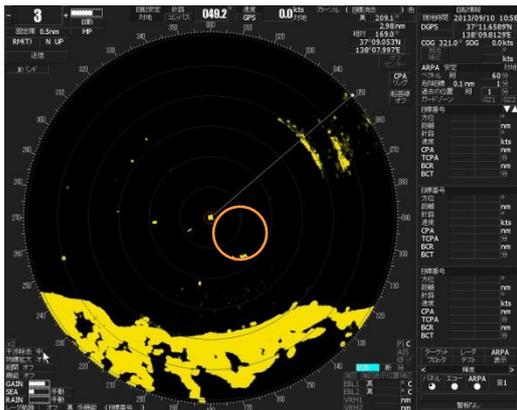
付図 5-22 実験 2-22,24 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)



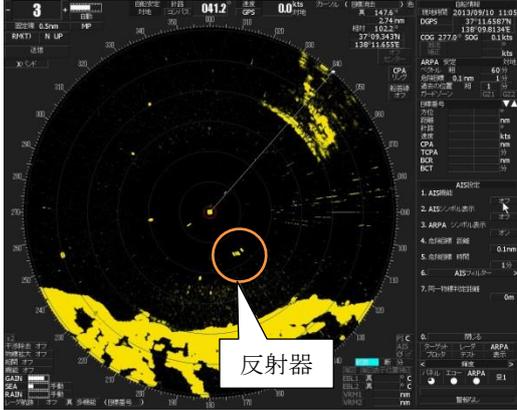
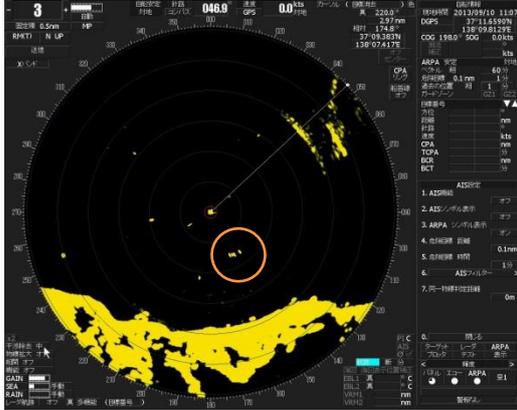
付図 5-23 実験 2-26,27 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)



付図 5-24 実験 2-28,29 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)

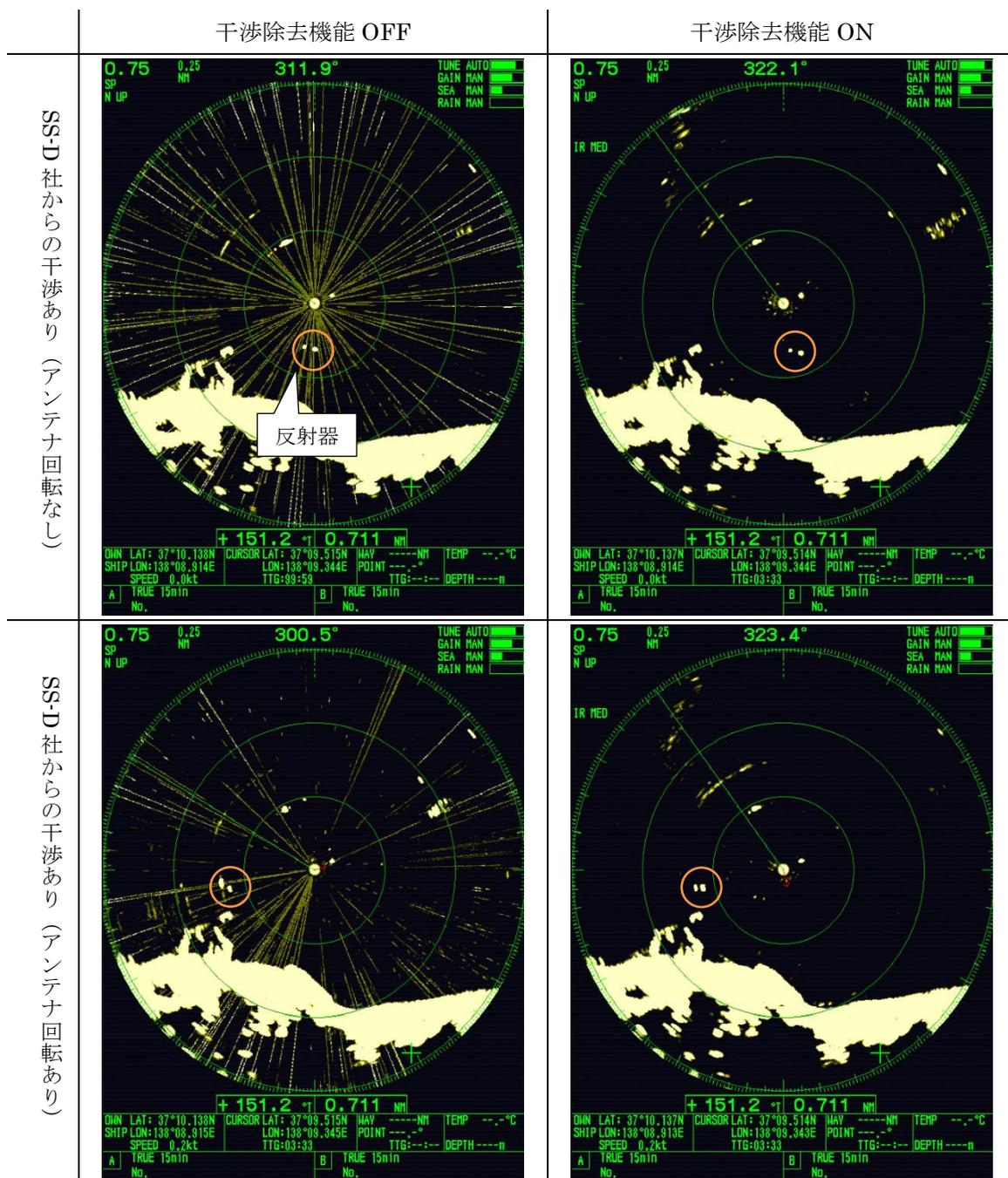
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
SSB 社 2 からの干渉あり (3dB 分低下周波数)		
SSB 社 2 からの干渉あり (6dB 分低下周波数)		

付図 5-25 実験 2-26,27 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

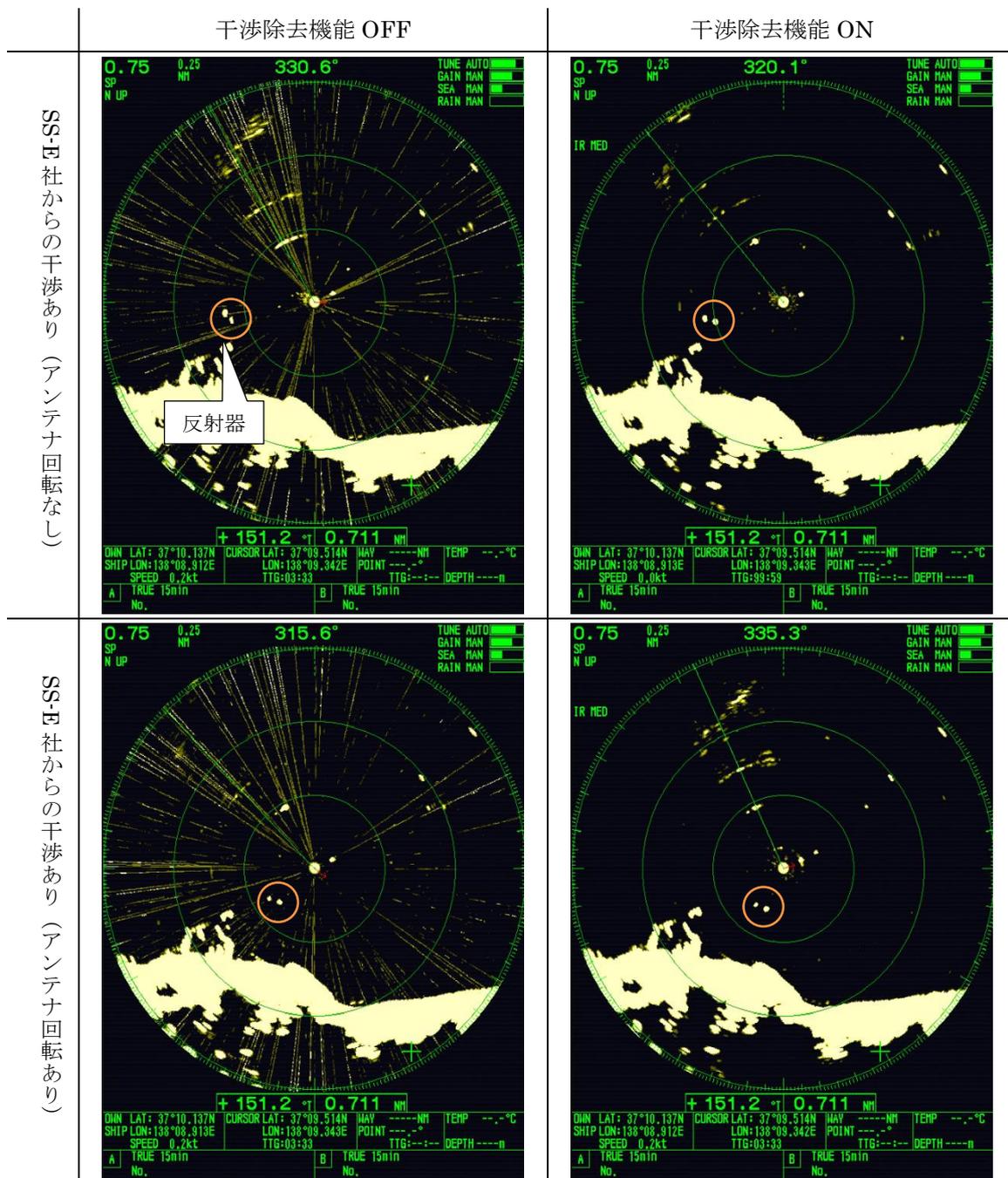
	干渉除去機能 OFF	干渉除去機能 ON
SS-B社-2からの干渉あり(10dB分低下周波数)		
SS-B社-2からの干渉あり(20dB分低下周波数)		

付図 5-26 実験 2-28,29 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)

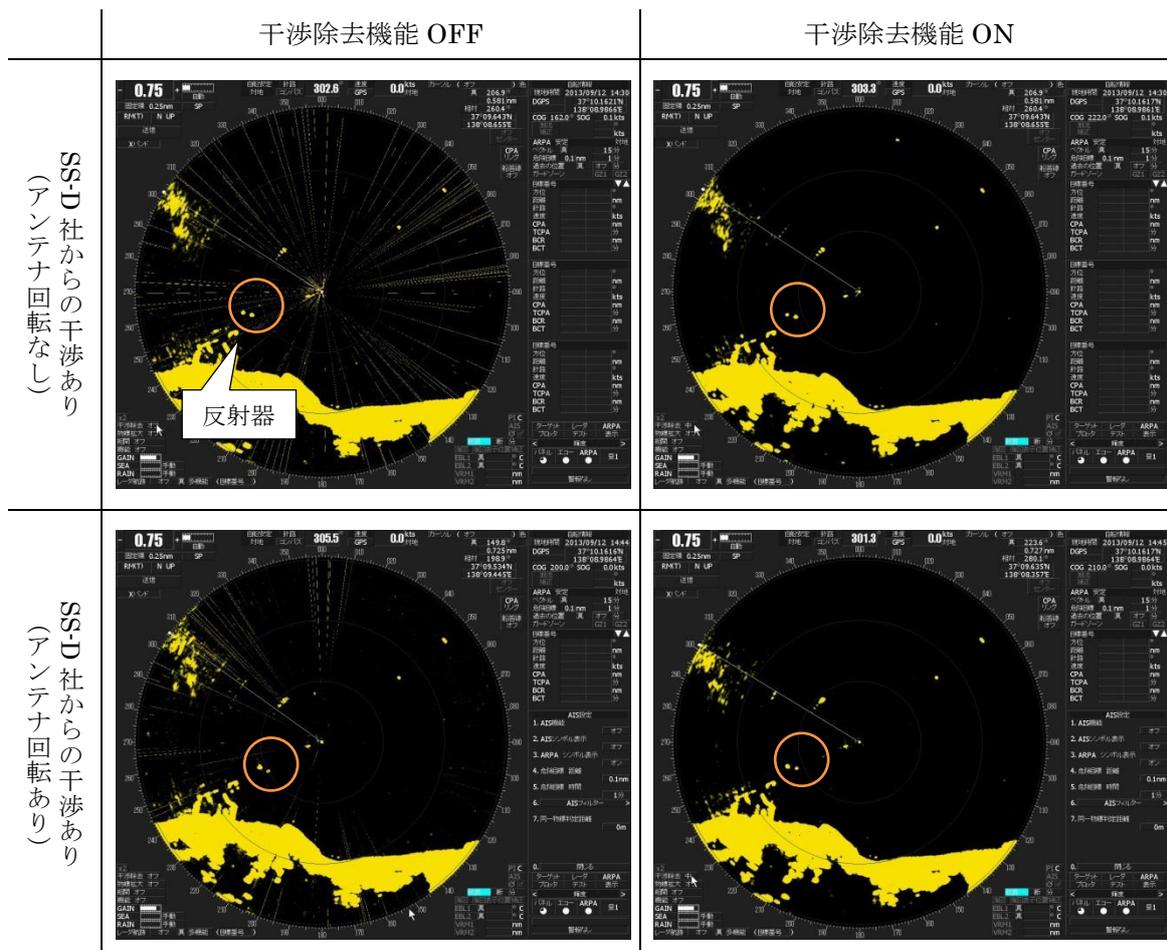
(2) 実験 3 近距離において固体素子レーダーが与干渉となる場合の調査



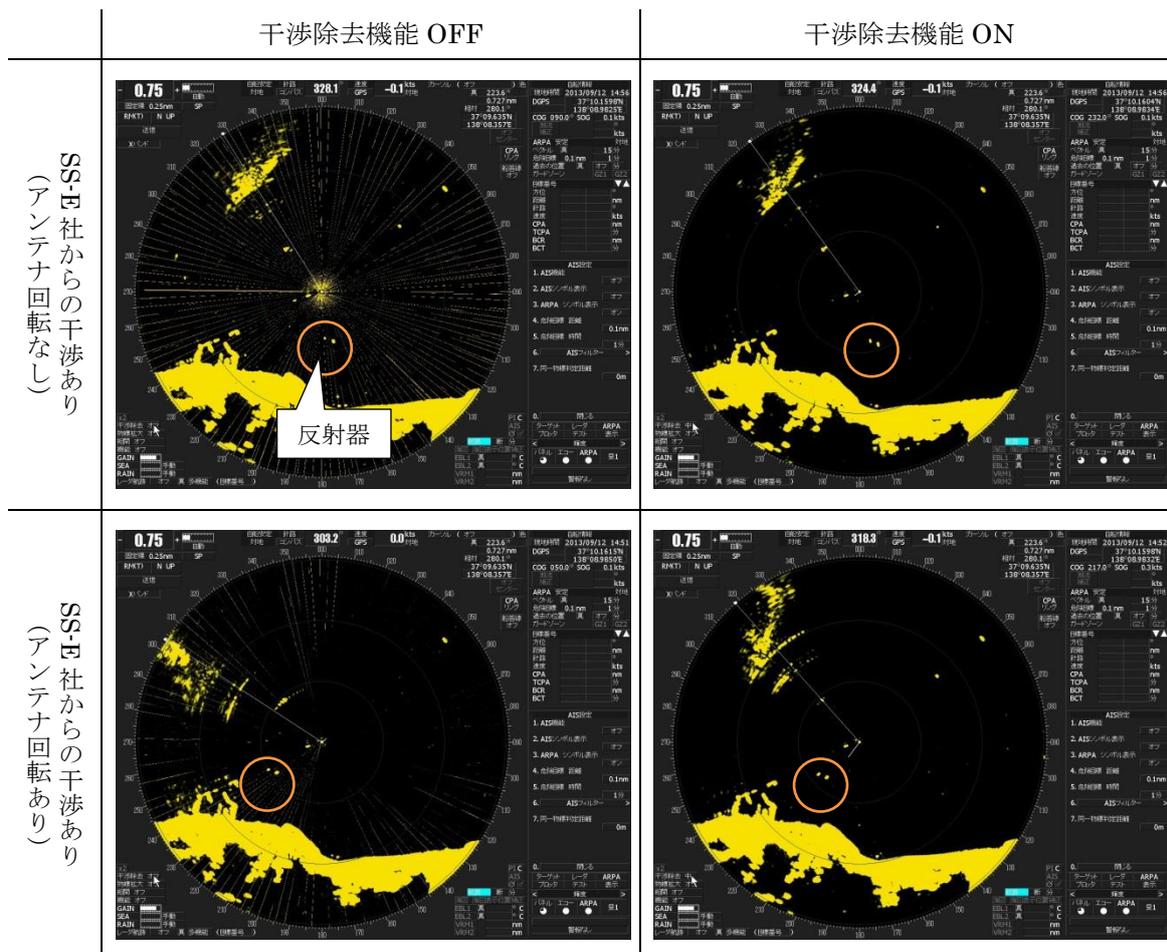
付図 5-27 実験 3-3,4 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)



付図 5-28 実験 3-5,6 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4)

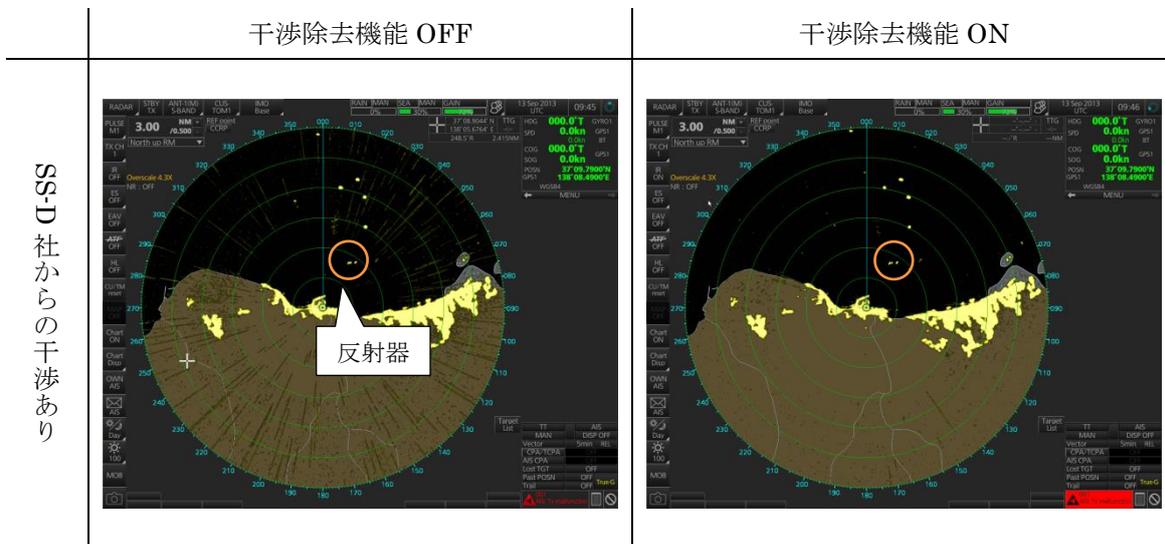


付図 5-29 実験 3-3,4 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

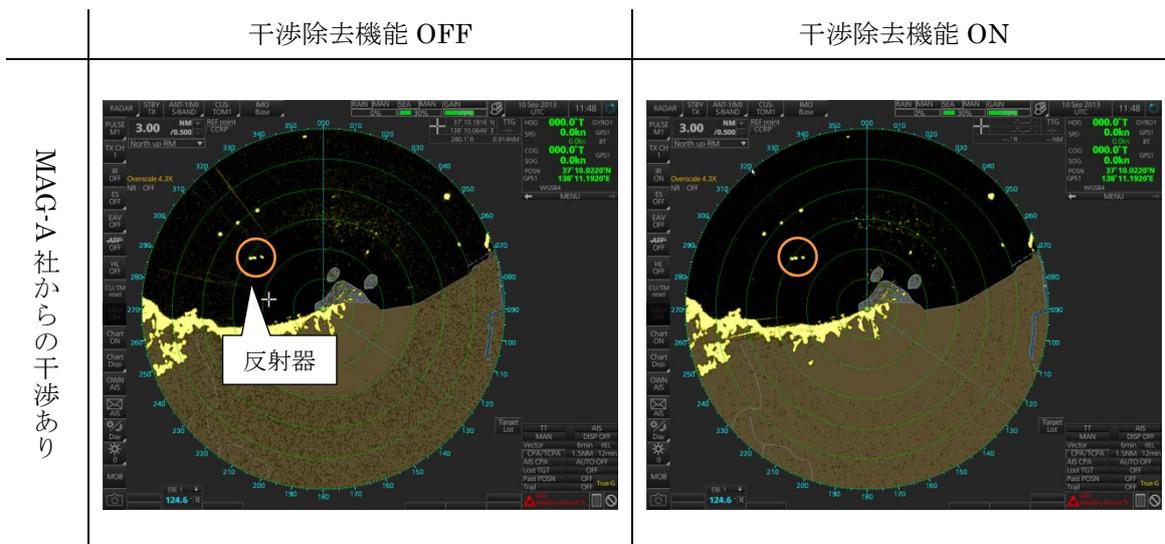


付図 5-30 実験 3-5,6 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8)

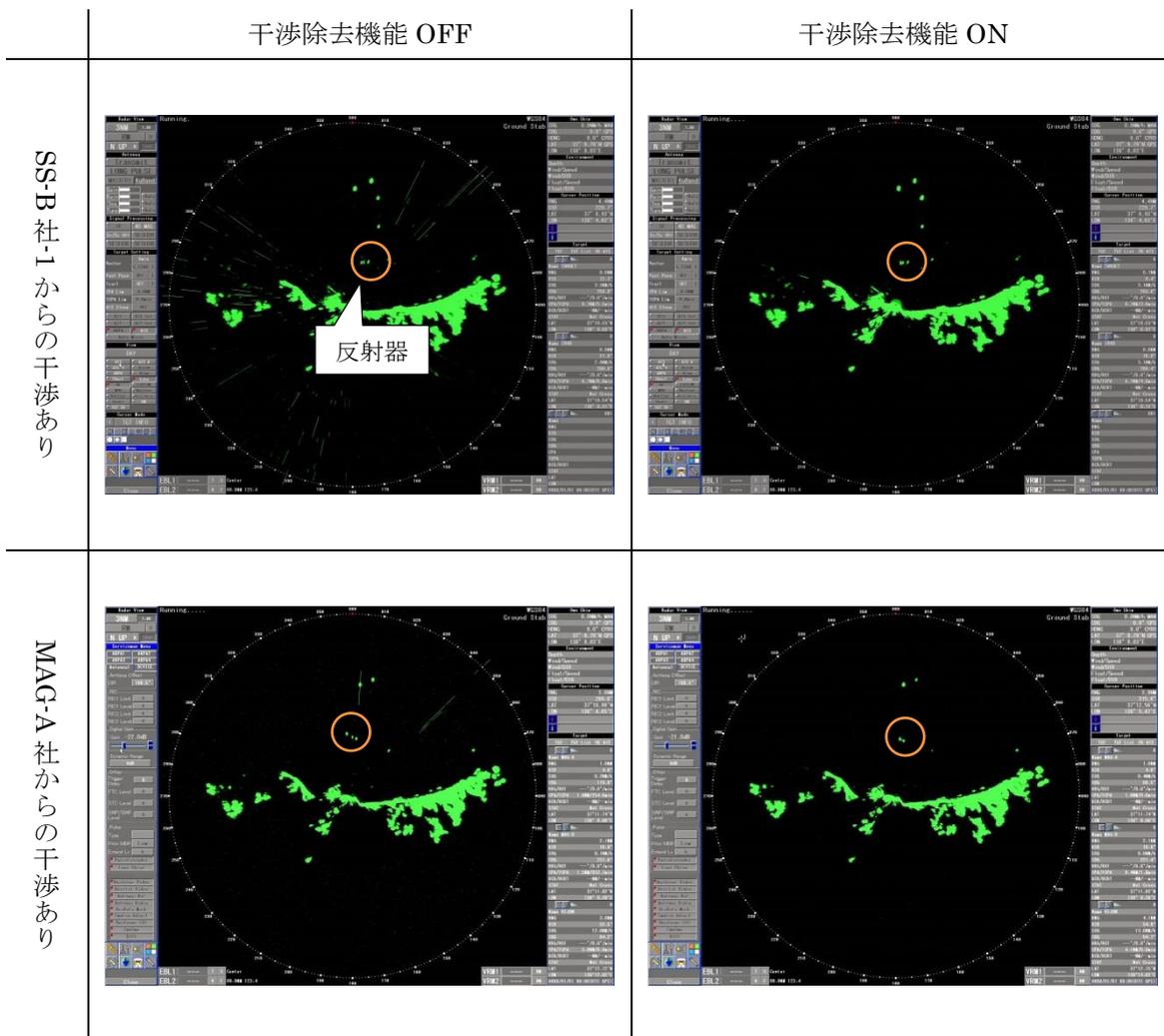
(3) 実験 6 固体素子レーダーが被干渉となる場合の調査



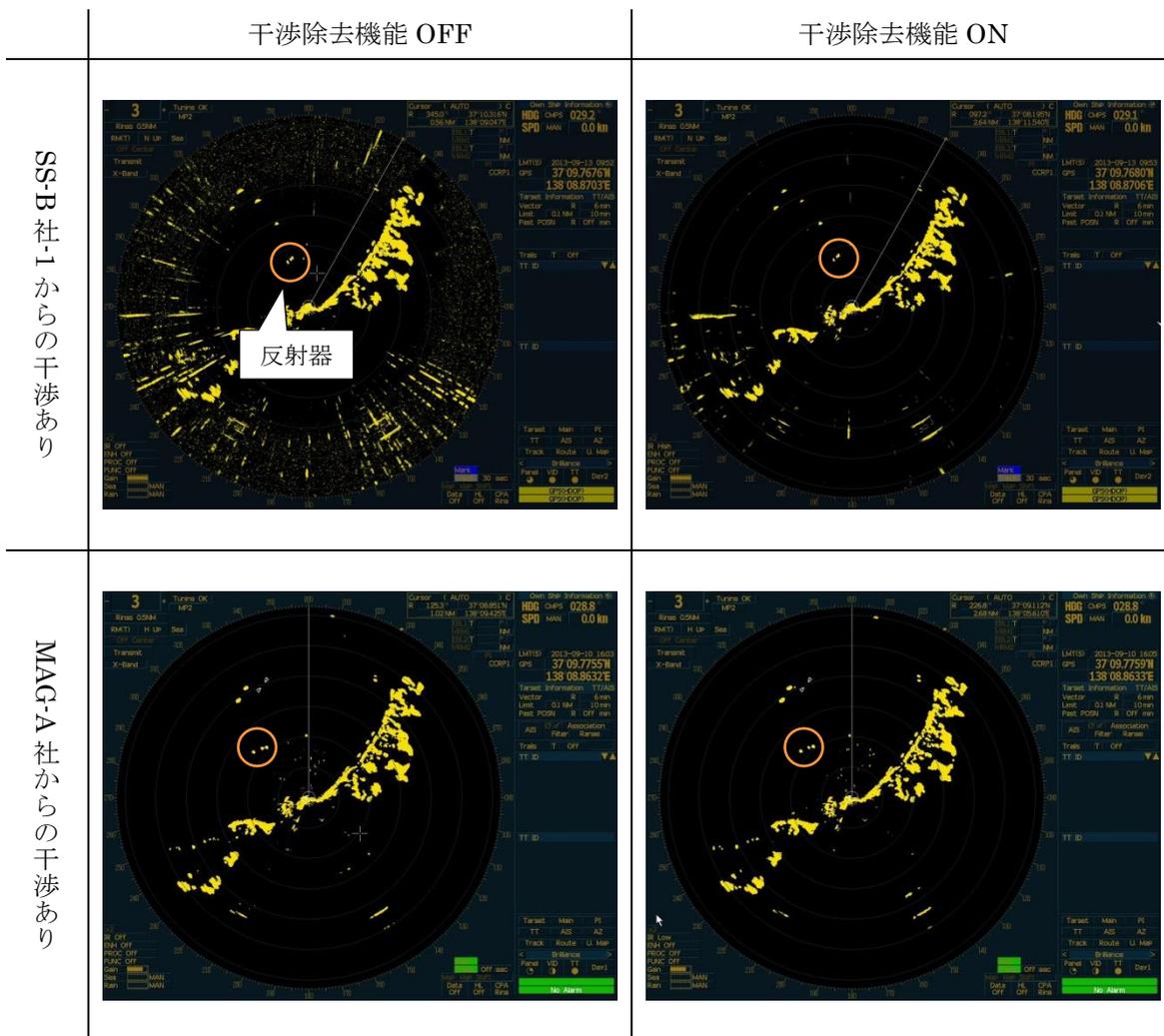
付図 5-31 実験 6-1 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)



付図 5-32 実験 6-4 におけるレーダー画面 (SS-B 社-2、設定-15)

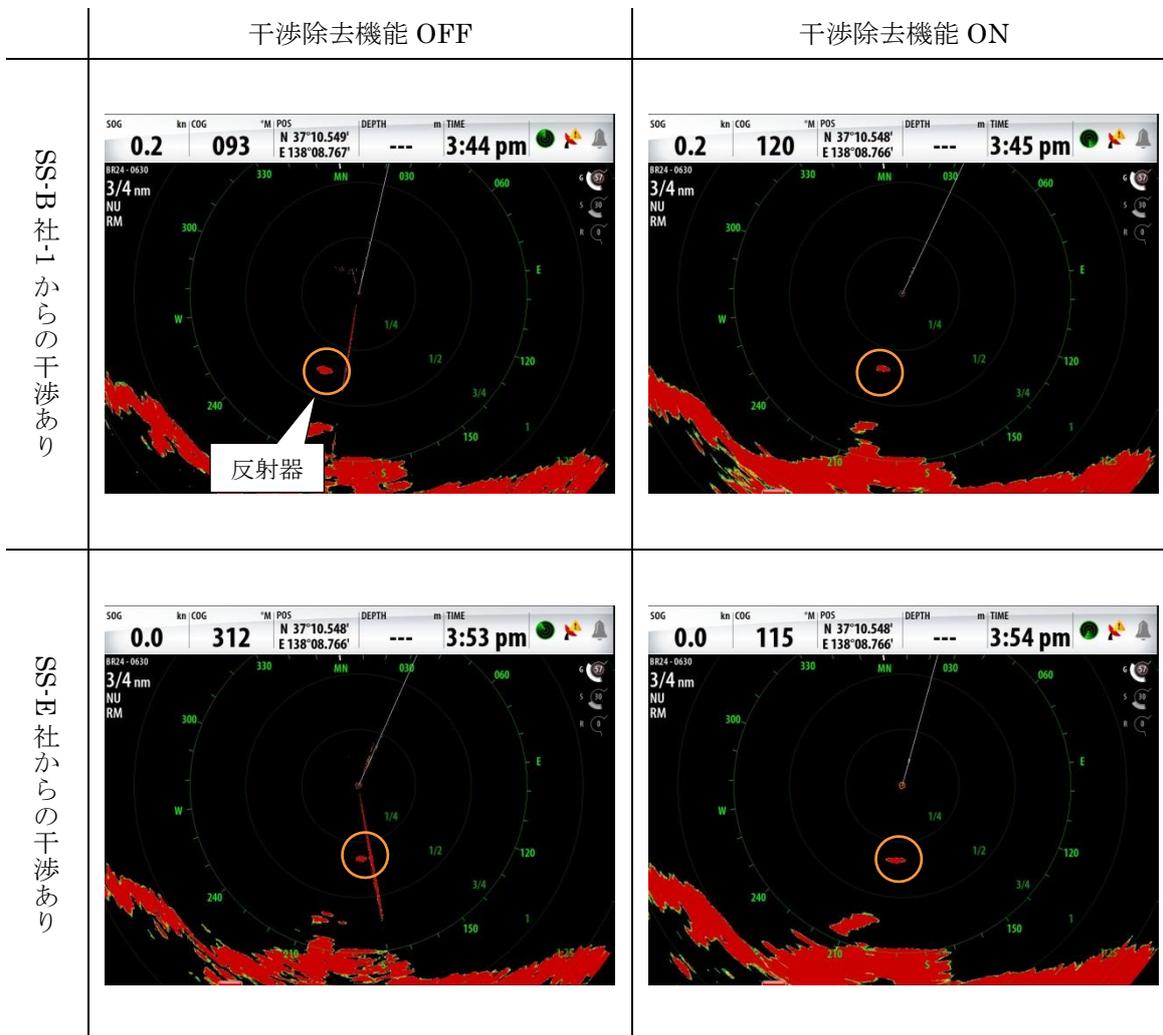


付図 5-33 実験 6-1,5 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)



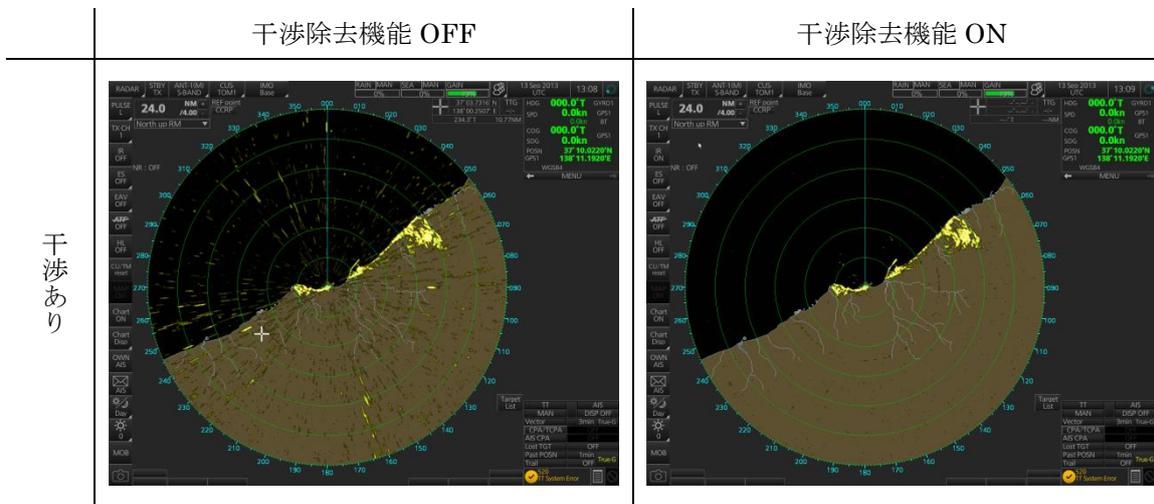
付図 5-34 実験 6-2,6 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)

(4) 実験 7 FMCW レーダーが被干渉となる場合の調査

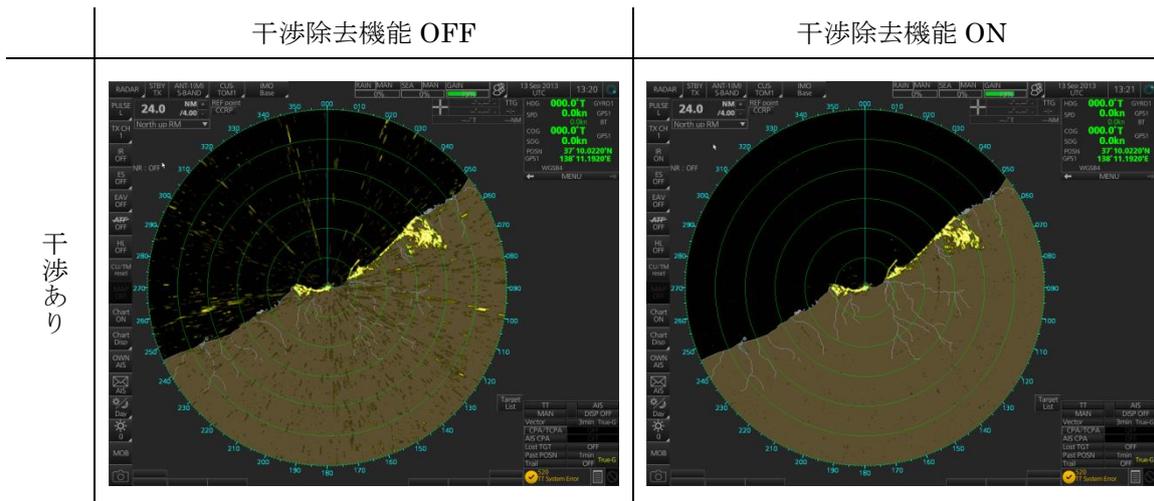


付図 5-35 実験 7-1,3 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)

(5) 実験 8 複数のレーダーが同時に送信状態となる総合干渉の調査



付図 5-36 実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-B 社-2、設定-16)



付図 5-37 実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-B 社-2、設定-16)

## ARPA 機能の設定

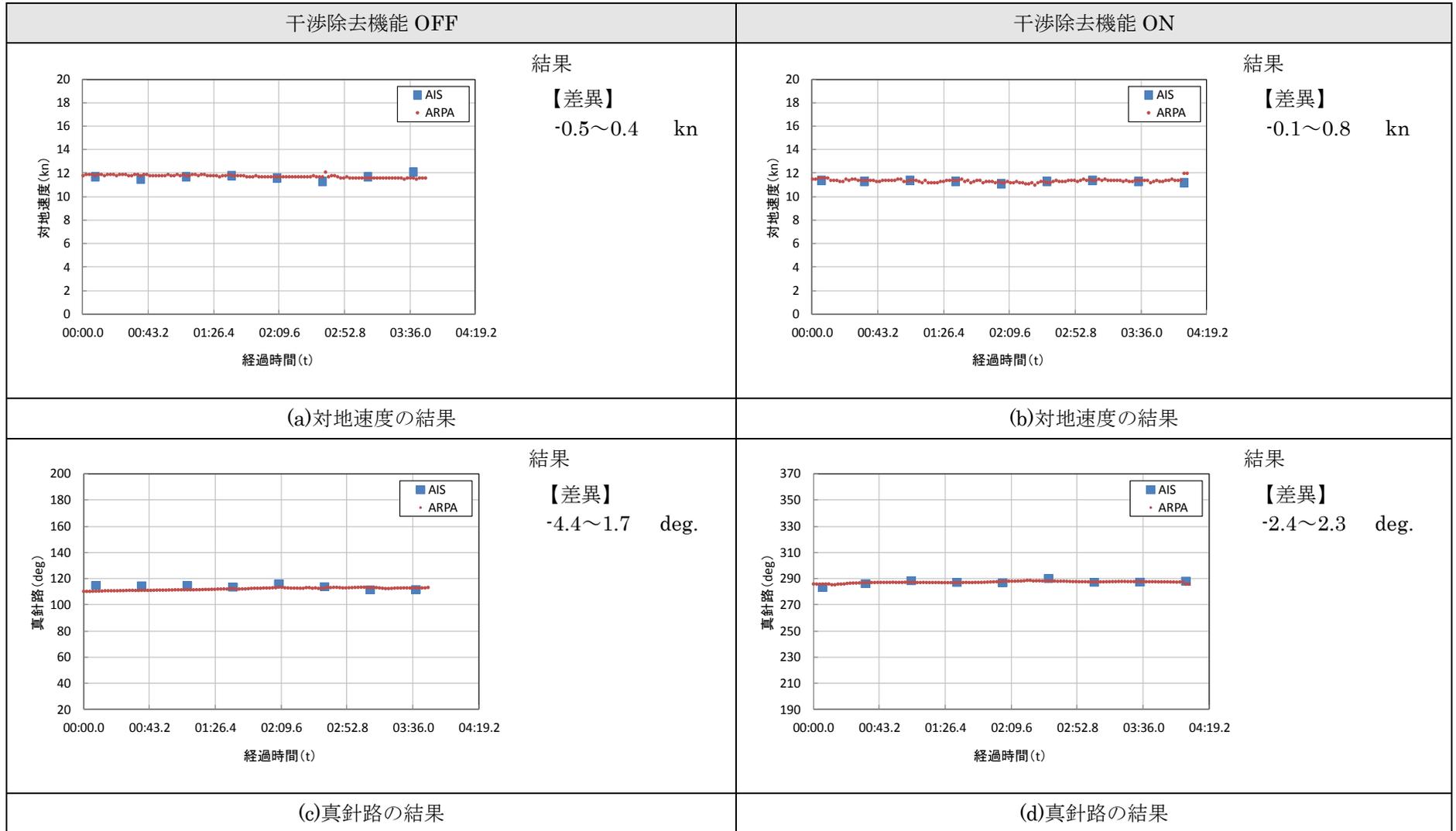
実験 4 (ARPA 機能に対する干渉の調査) における、ARPA 機能の設定は、以下のとおりである。

No.	項目	設定	設定理由
1	ベクトル長	15min	TTとAISのベクトル差異を分かりやすくし、ベクトルはレーダー画面内に収まる範囲で長くするため。
2	真ベクトル ／相対ベクトル	真ベクトル	AISデータと合わせるため。
3	対水基準 ／対地基準	対地基準	AISデータと合わせるため。
4	危険船設定	移動船が危険船とならないよう設定	アラームの応答といった、実験時の煩雑さを軽減するため。
5	AISの活性化 (アクティベート)	活性化する	レーダー画面にベクトルを表示するため。
6	TTとAISのマージ	マージしない	TTとAISのベクトルを分離して、レーダー画面に表示するため。
7	データ表示	TTとAISを個別に表示	TT/AISの双方のデータをレーダー画面に表示し、比較できるようにするため。
8	TTロスト時の処理	再追尾しない ロストの状態とする	ロストしたことをレーダー画面で確認するため。
9	AISロスト時の処理	活性化する	AISデータは実験の比較対象であり、活性化後直ちにデータを取得するため。
10	キャプチャ時間	TTで捕捉開始から3分後 ～実験項目の終了まで	レーダー画面データの保存枚数を増やすため。

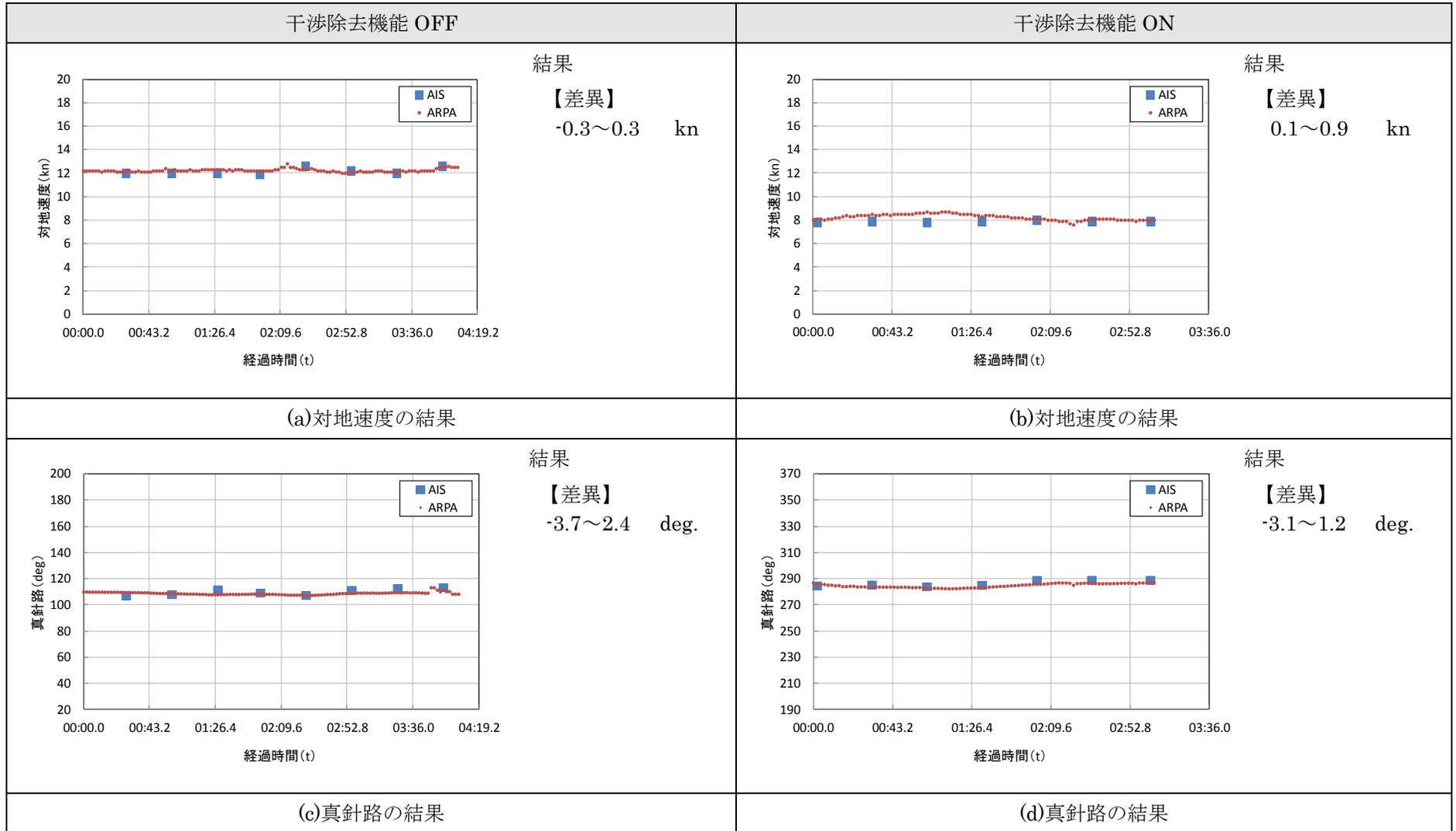
## 実験 4 (ARPA 機能に対する干渉の調査) の結果

次ページより、実験項目毎に収集した AIS と ARPA における対地速度と真針路の測定経過時間による変動を示す。

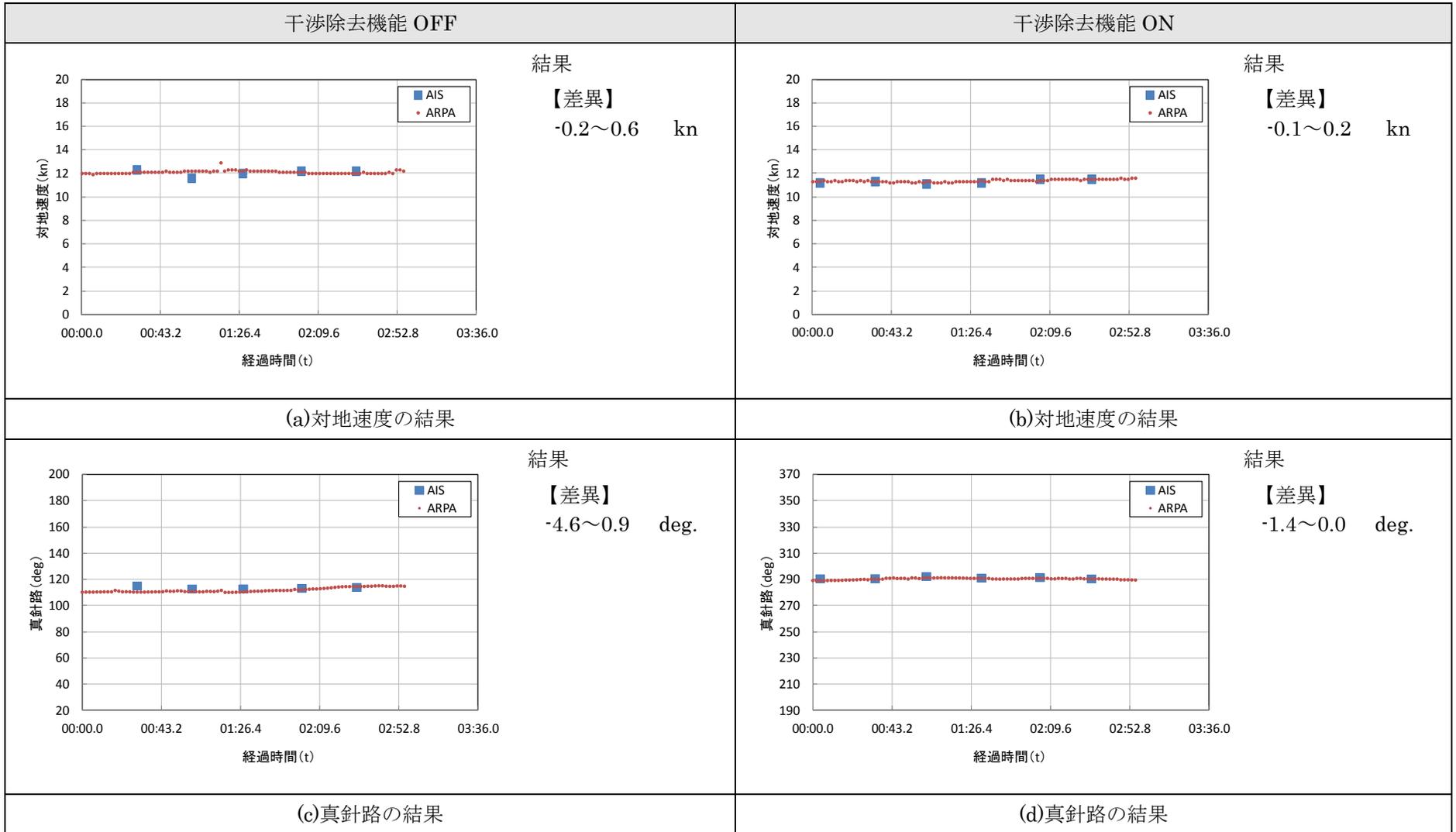
付図 7-1	シナリオ 1	実験 4-1 (MAG-A 社)	付 40
付図 7-2	シナリオ 1	実験 4-2 (MAG-A 社)	付 41
付図 7-3	シナリオ 1	実験 4-3 (MAG-A 社)	付 42
付図 7-4	シナリオ 1	実験 4-4 (MAG-A 社)	付 43
付図 7-5	シナリオ 1	実験 4-5 (MAG-A 社)	付 44
付図 7-6	シナリオ 1	実験 4-1 (MAG-B 社)	付 45
付図 7-7	シナリオ 1	実験 4-2 (MAG-B 社)	付 46
付図 7-8	シナリオ 1	実験 4-3 (MAG-B 社)	付 47
付図 7-9	シナリオ 1	実験 4-4 (MAG-B 社)	付 48
付図 7-10	シナリオ 1	実験 4-1 (MAG-C 社)	付 49
付図 7-11	シナリオ 1	実験 4-2 (MAG-C 社)	付 50
付図 7-12	シナリオ 1	実験 4-3 (MAG-C 社)	付 51
付図 7-13	シナリオ 1	実験 4-4 (MAG-C 社)	付 52
付図 7-14	シナリオ 2	実験 4-1 (MAG-A 社)	付 53
付図 7-15	シナリオ 2	実験 4-2 (MAG-A 社)	付 54
付図 7-16	シナリオ 2	実験 4-3 (MAG-A 社)	付 55
付図 7-17	シナリオ 2	実験 4-4 (MAG-A 社)	付 56
付図 7-18	シナリオ 2	実験 4-5 (MAG-A 社)	付 57
付図 7-19	シナリオ 2	実験 4-1 (MAG-B 社)	付 58
付図 7-20	シナリオ 2	実験 4-2 (MAG-B 社)	付 59
付図 7-21	シナリオ 2	実験 4-3 (MAG-B 社)	付 60
付図 7-22	シナリオ 2	実験 4-4 (MAG-B 社)	付 61
付図 7-23	シナリオ 2	実験 4-1 (MAG-C 社)	付 62
付図 7-24	シナリオ 2	実験 4-2 (MAG-C 社)	付 63
付図 7-25	シナリオ 2	実験 4-3 (MAG-C 社)	付 64
付図 7-26	シナリオ 2	実験 4-4 (MAG-C 社)	付 65



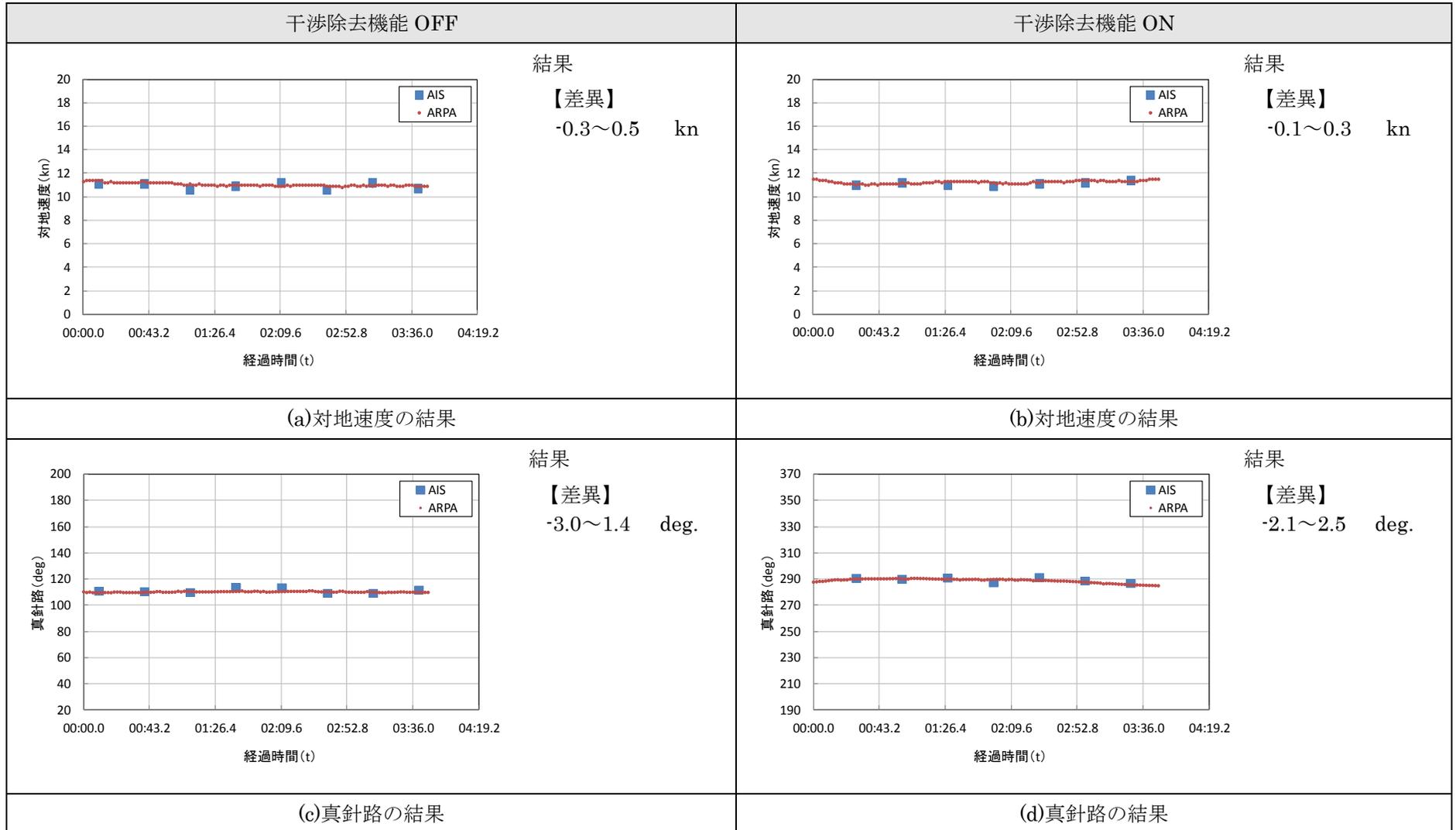
付図 7-1 シナリオ 1 実験 4-1 (MAG-A 社)



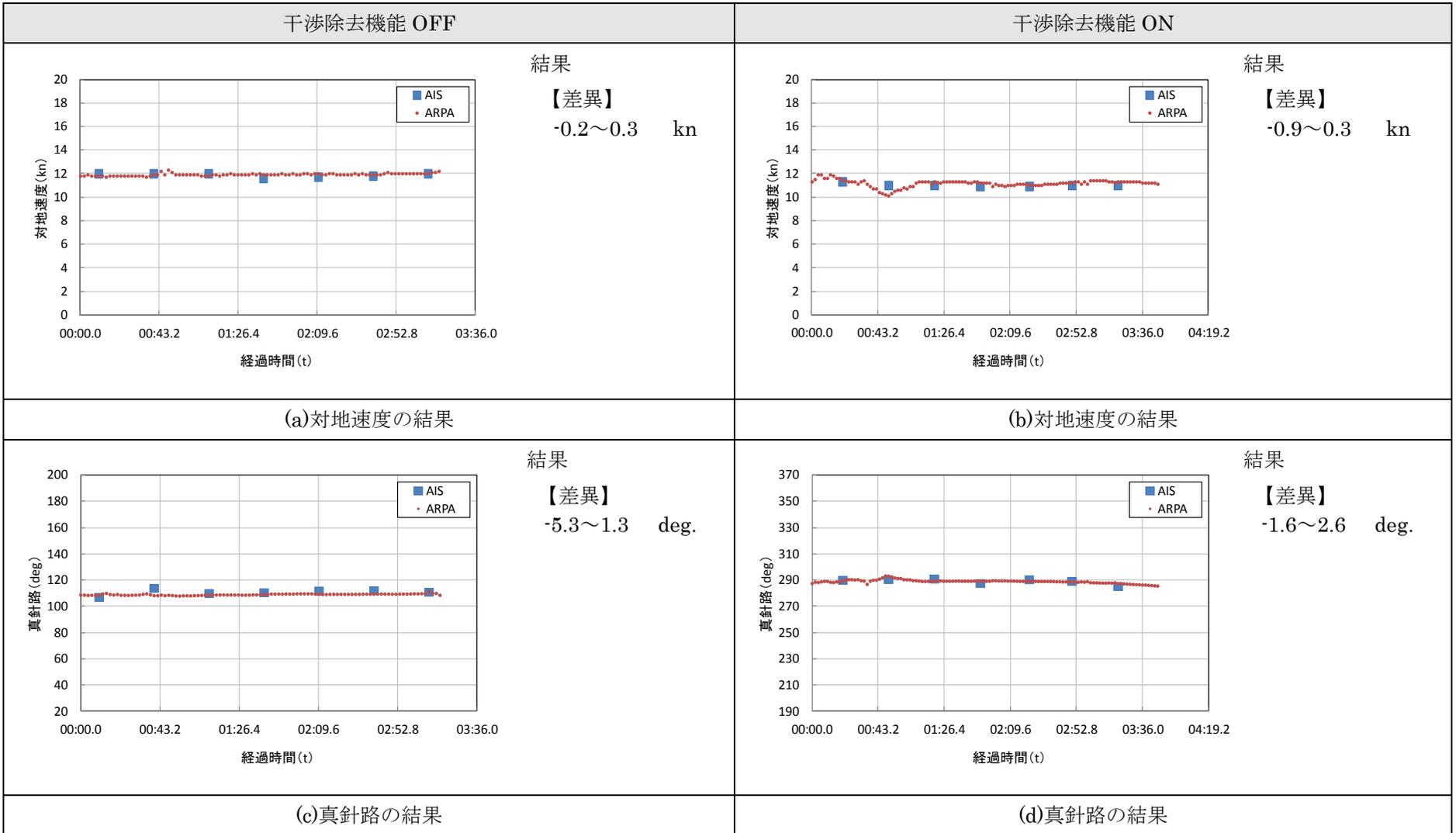
付図 7-2 シナリオ 1 実験 4-2 (MAG-A 社)



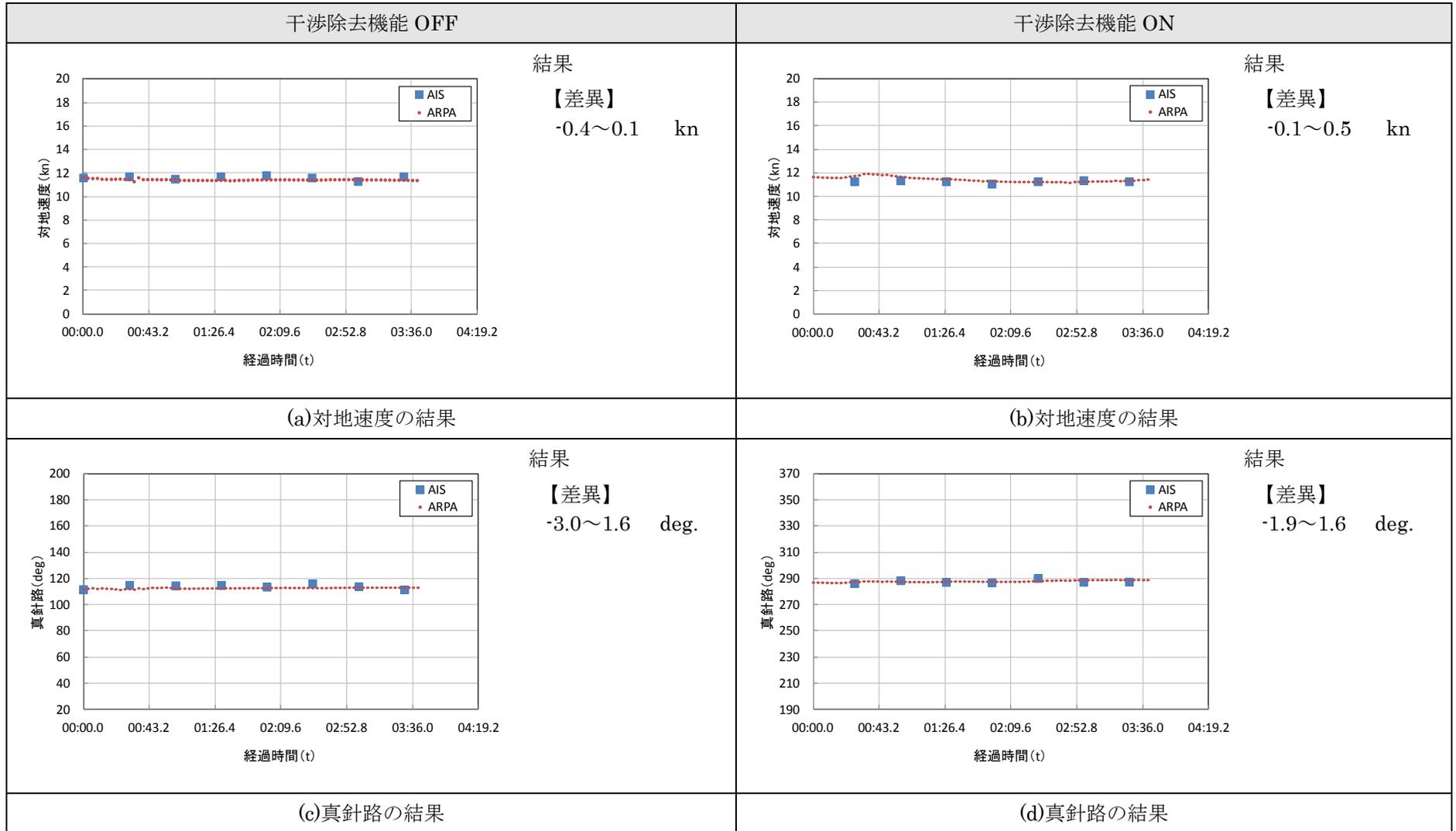
付図 7-3 シナリオ 1 実験 4-3 (MAG-A 社)



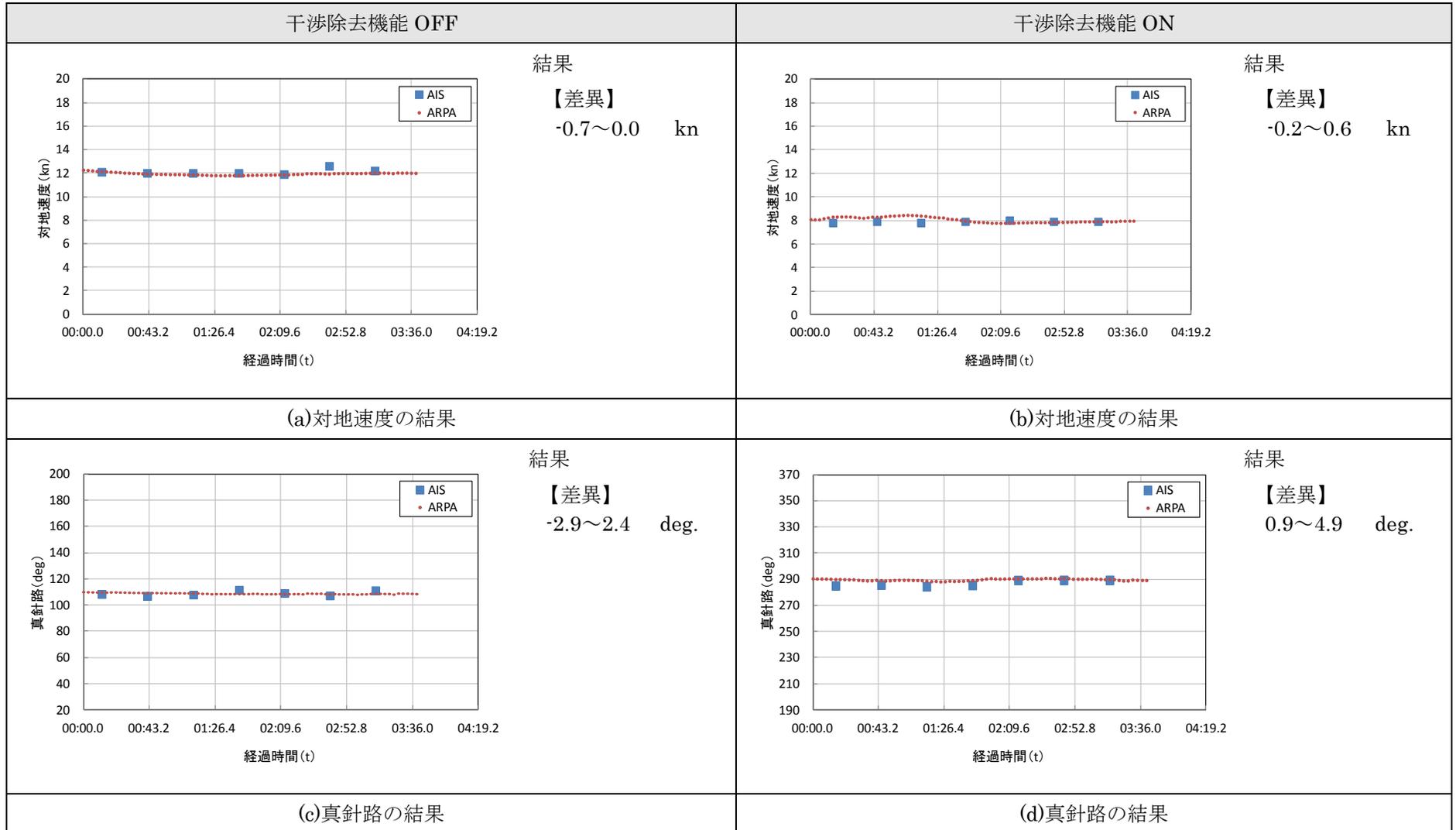
付図 7-4 シナリオ 1 実験 4-4 (MAG-A 社)



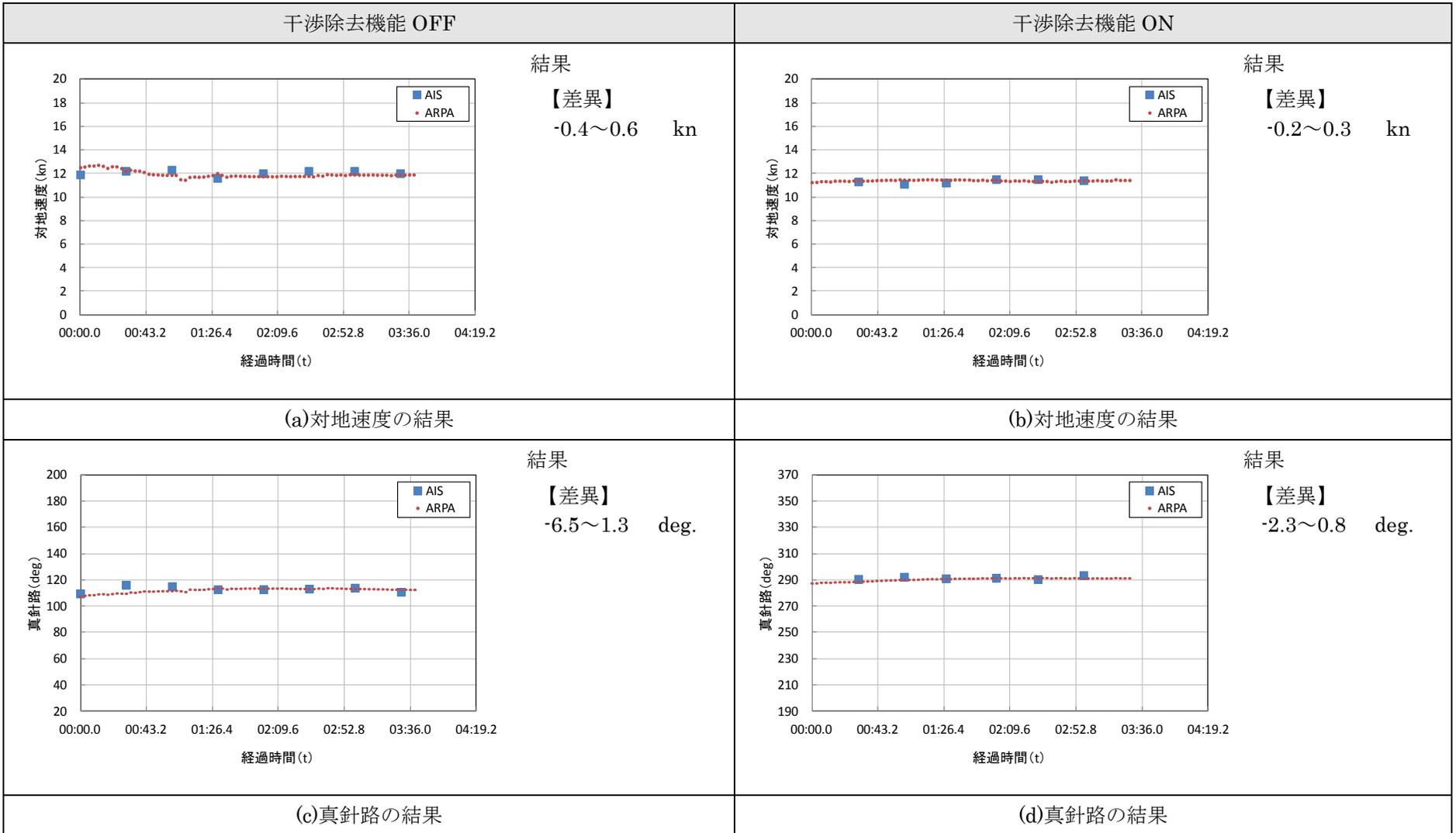
付図 7-5 シナリオ 1 実験 4-5 (MAG-A 社)



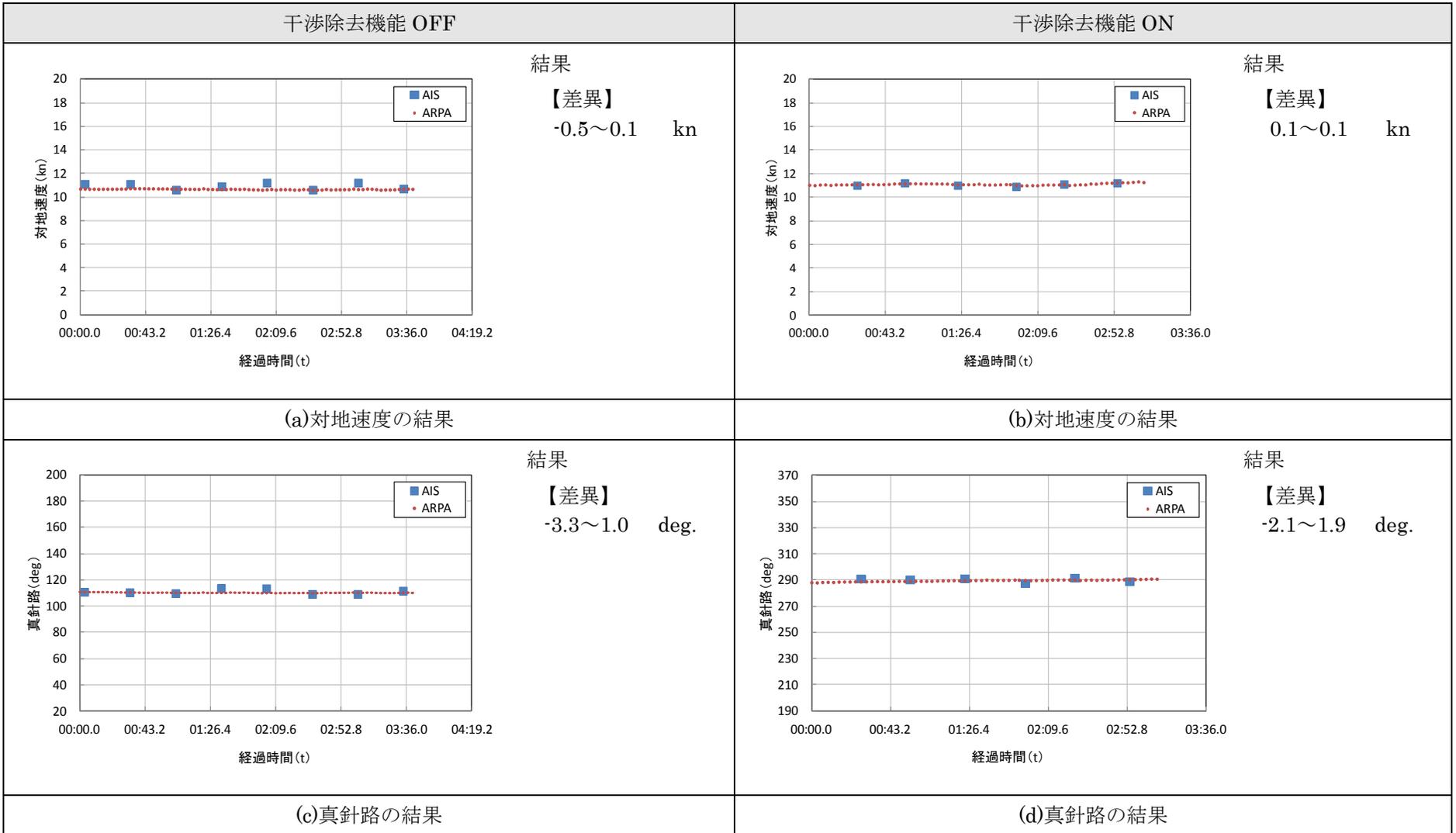
付図 7-6 シナリオ 1 実験 4-1 (MAG-B 社)



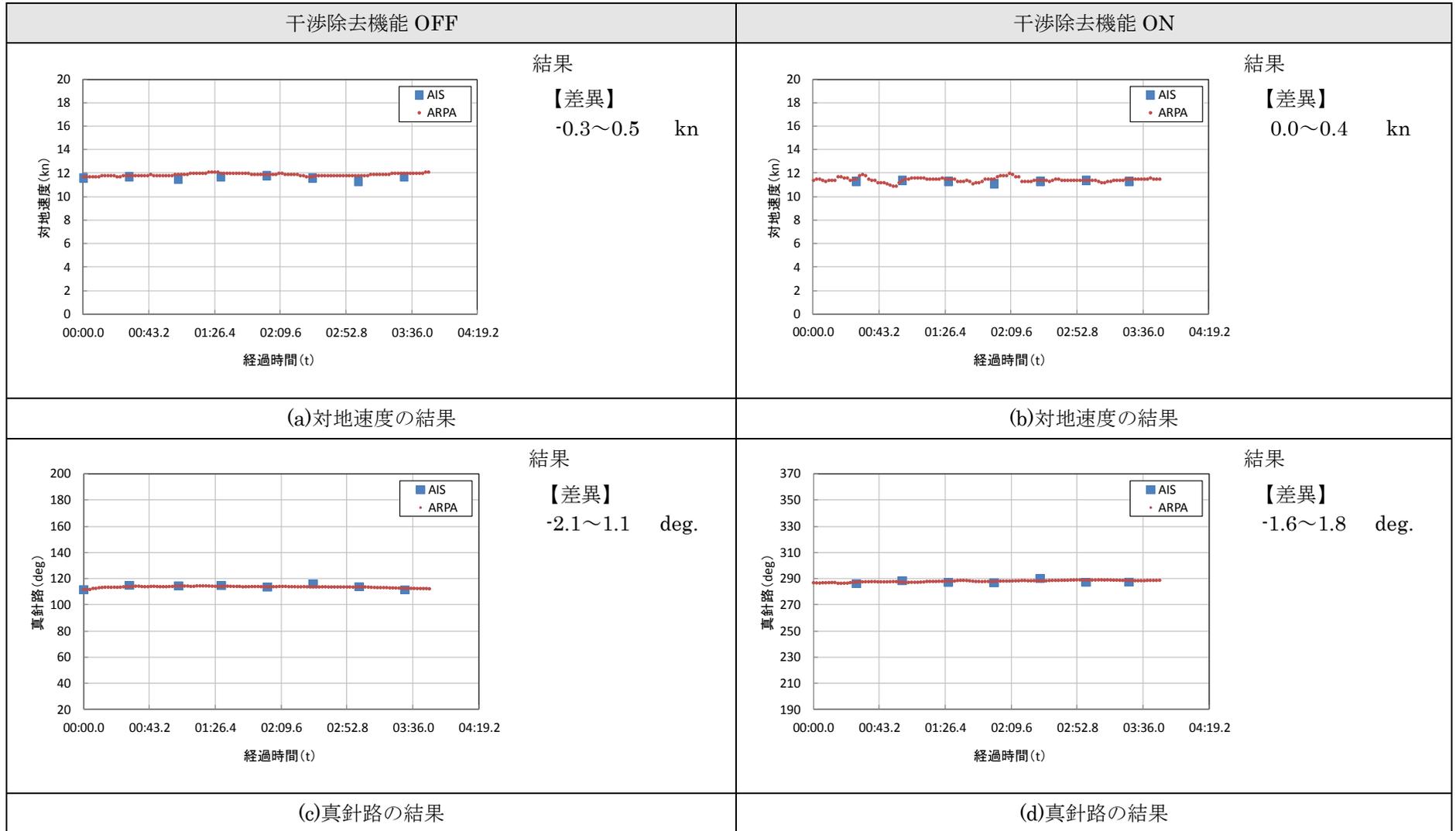
付図 7-7 シナリオ 1 実験 4-2 (MAG-B 社)



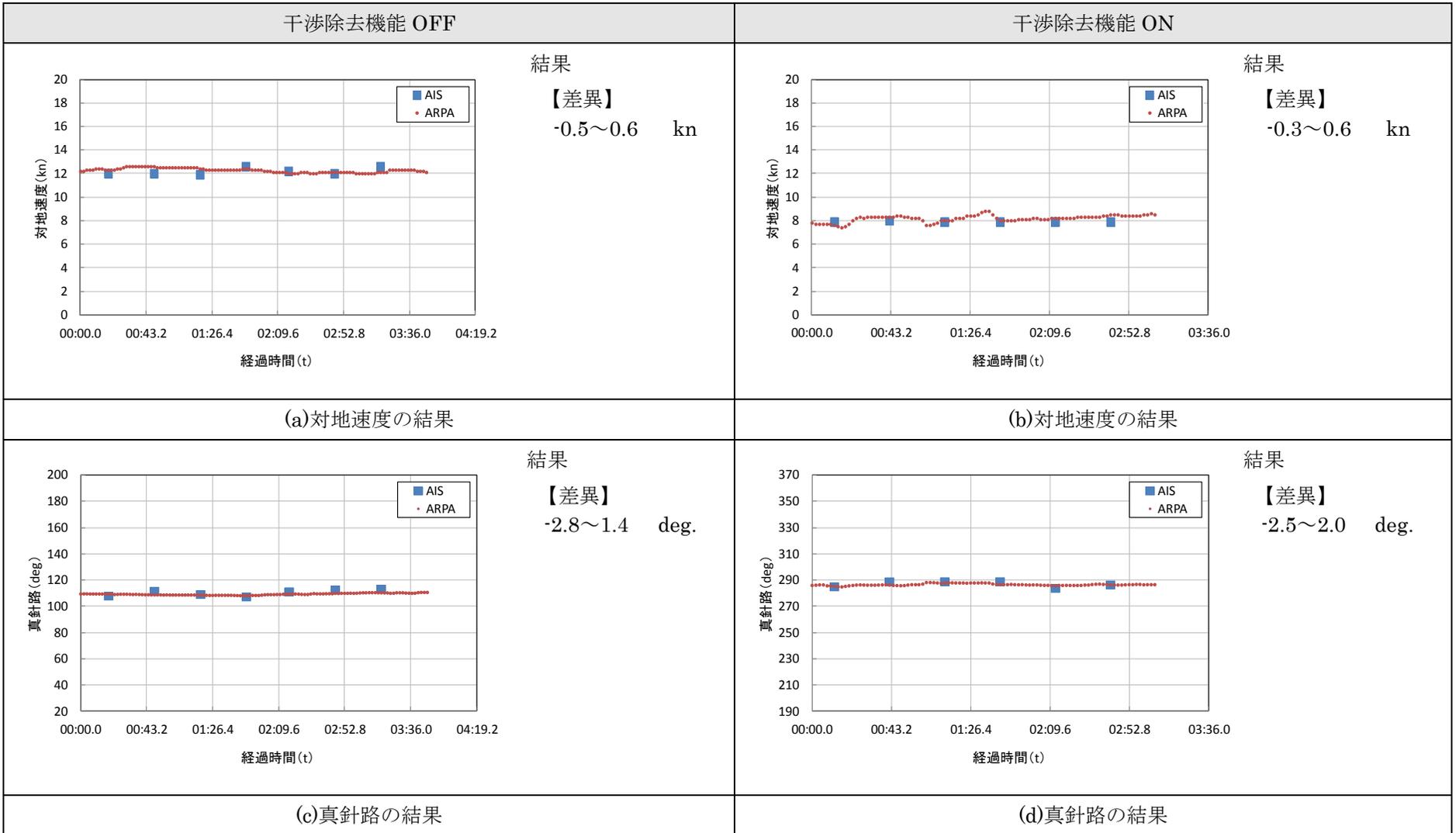
付図 7-8 シナリオ 1 実験 4-3 (MAG-B 社)



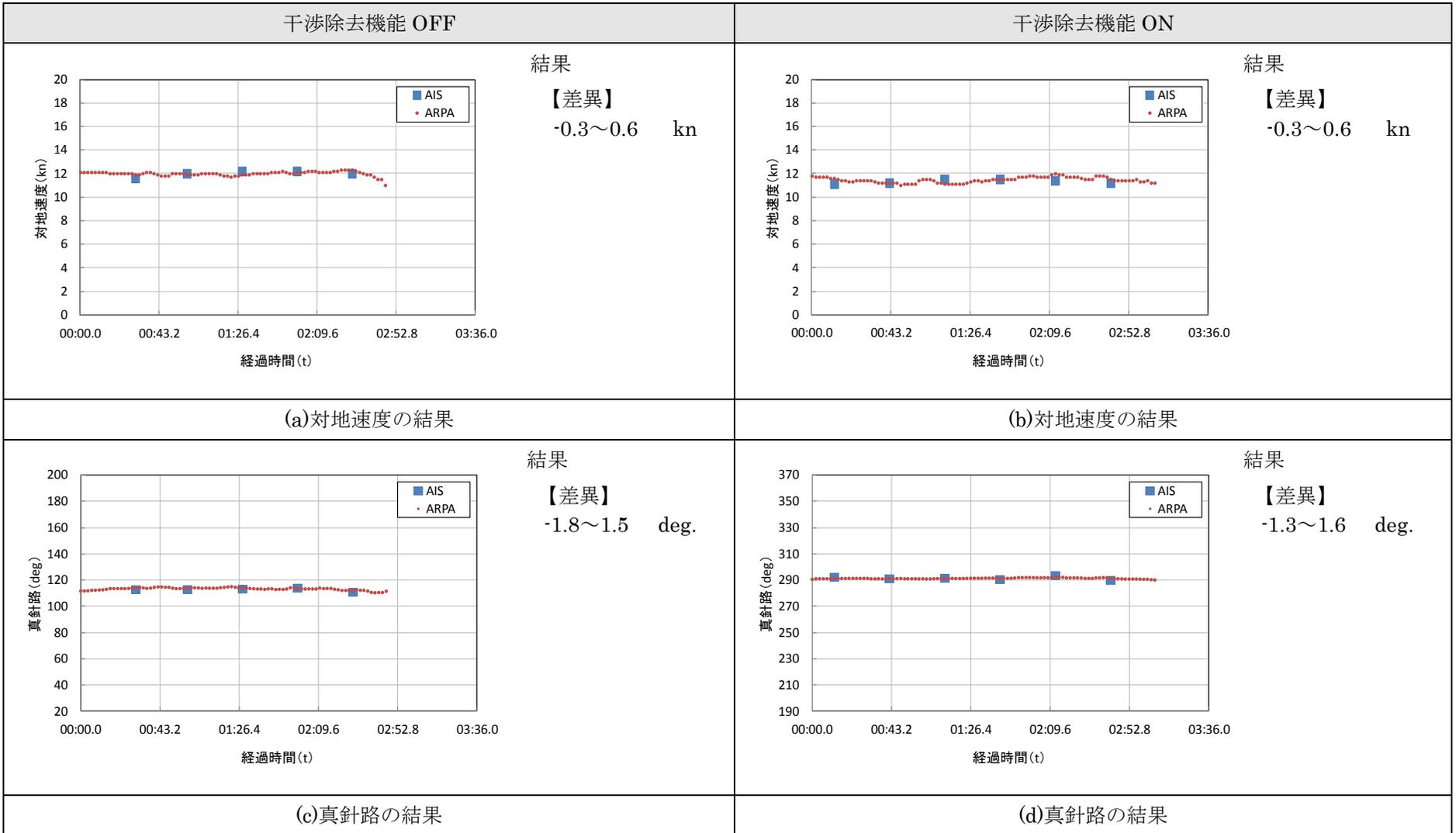
付図 7-9 シナリオ 1 実験 4-4 (MAG-B 社)



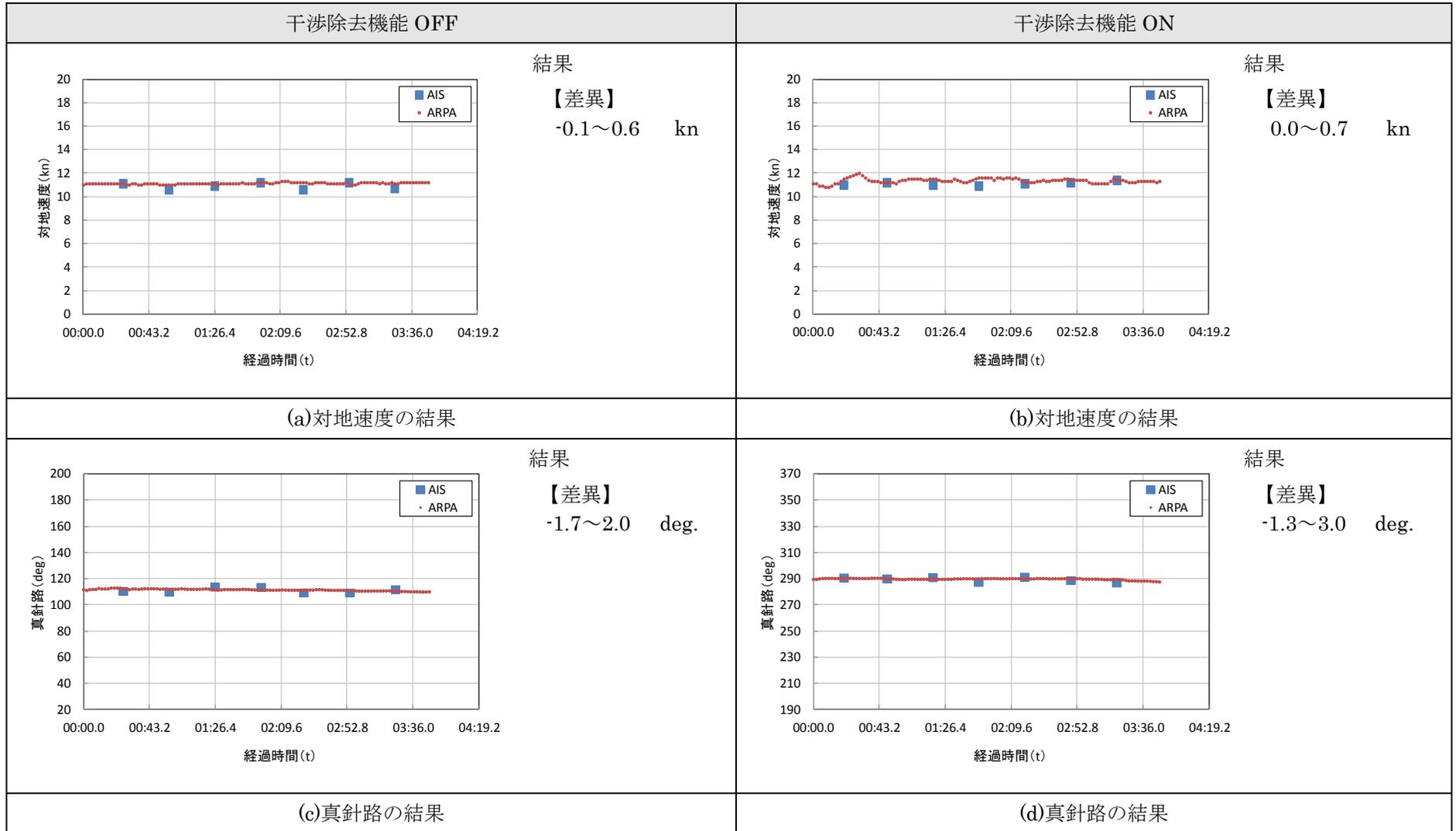
付図 7-10 シナリオ 1 実験 4-1 (MAG-C 社)



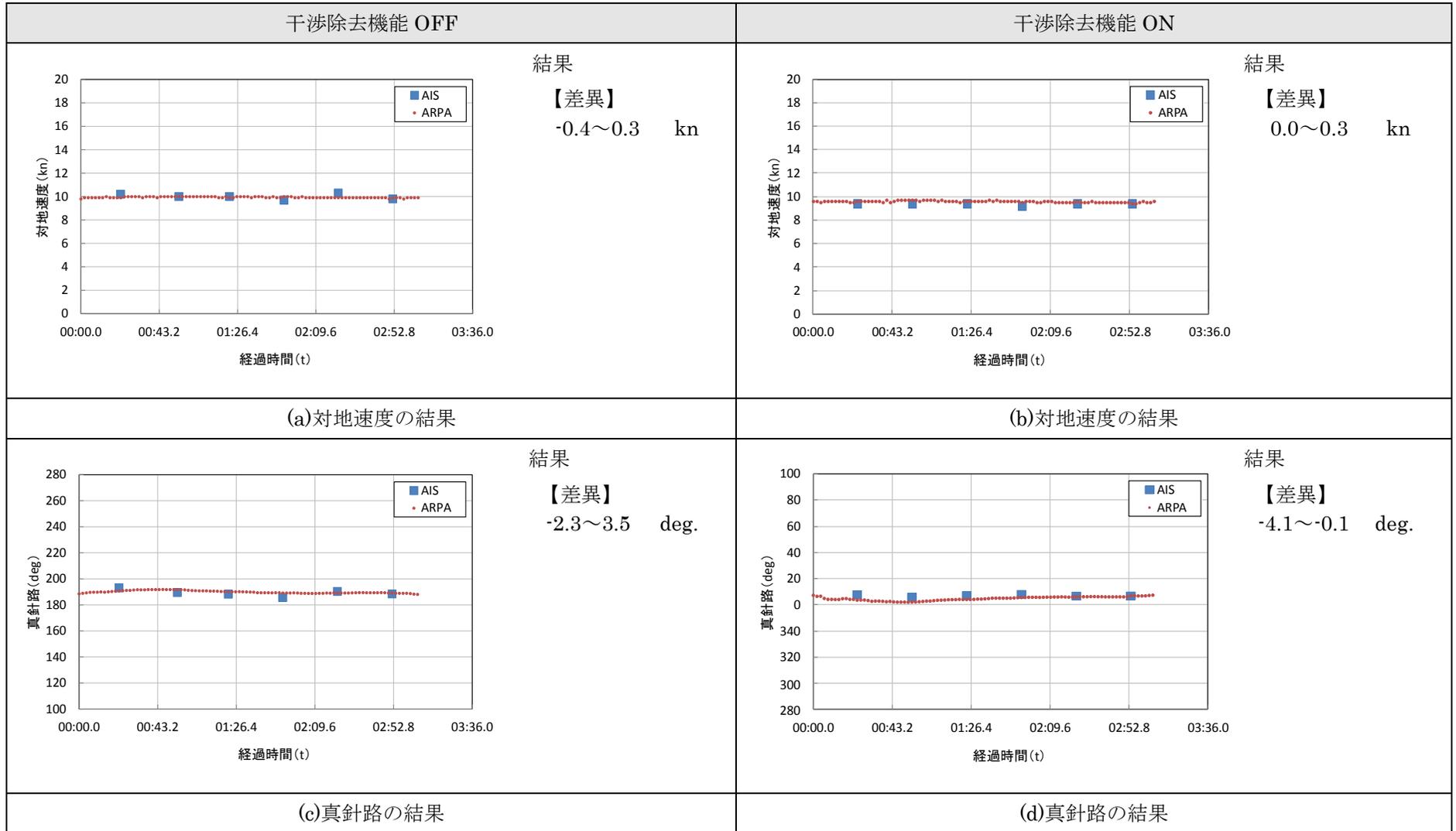
付図 7-11 シナリオ 1 実験 4-2 (MAG-C 社)



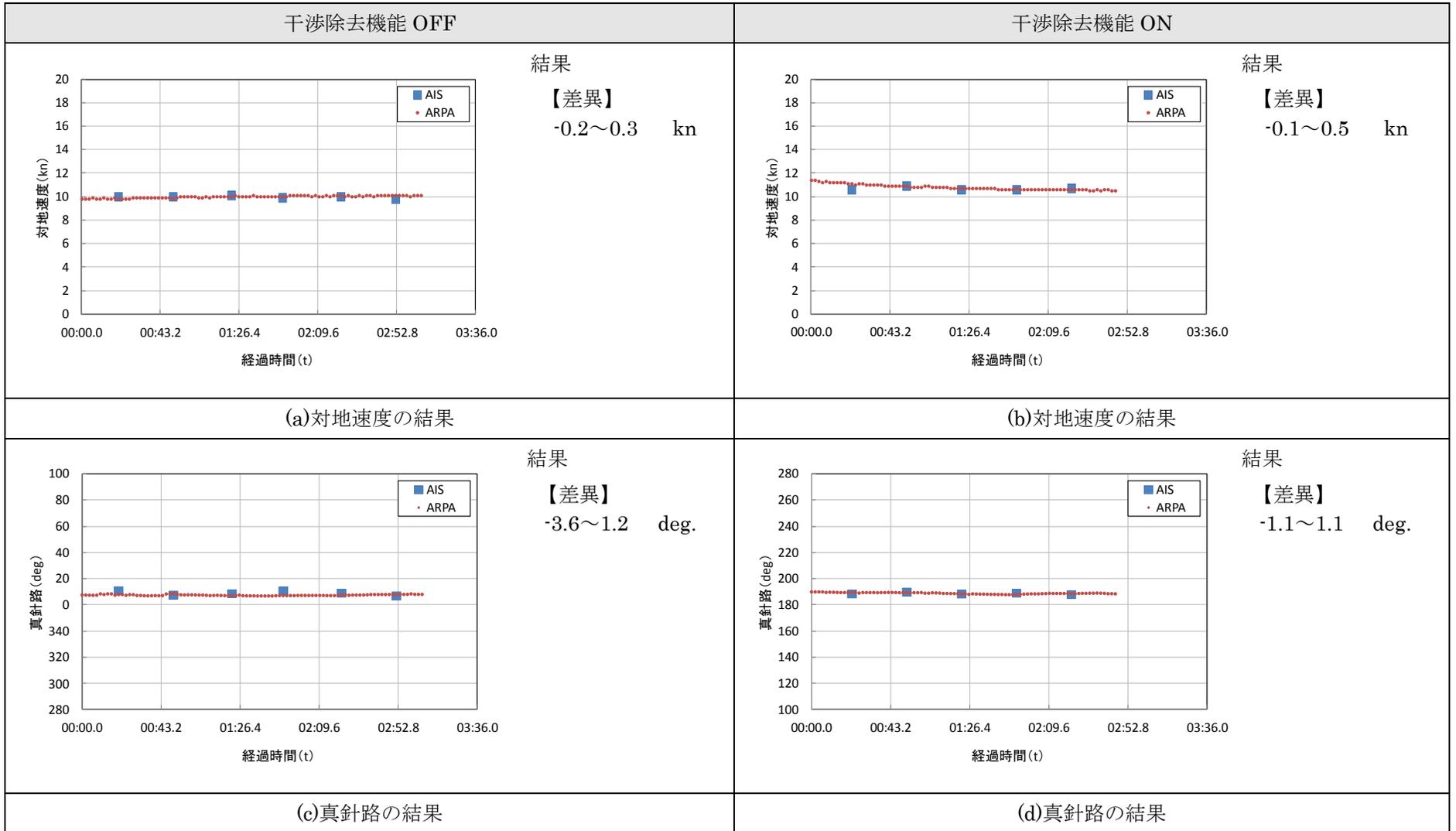
付図 7-12 シナリオ 1 実験 4-3 (MAG-C 社)



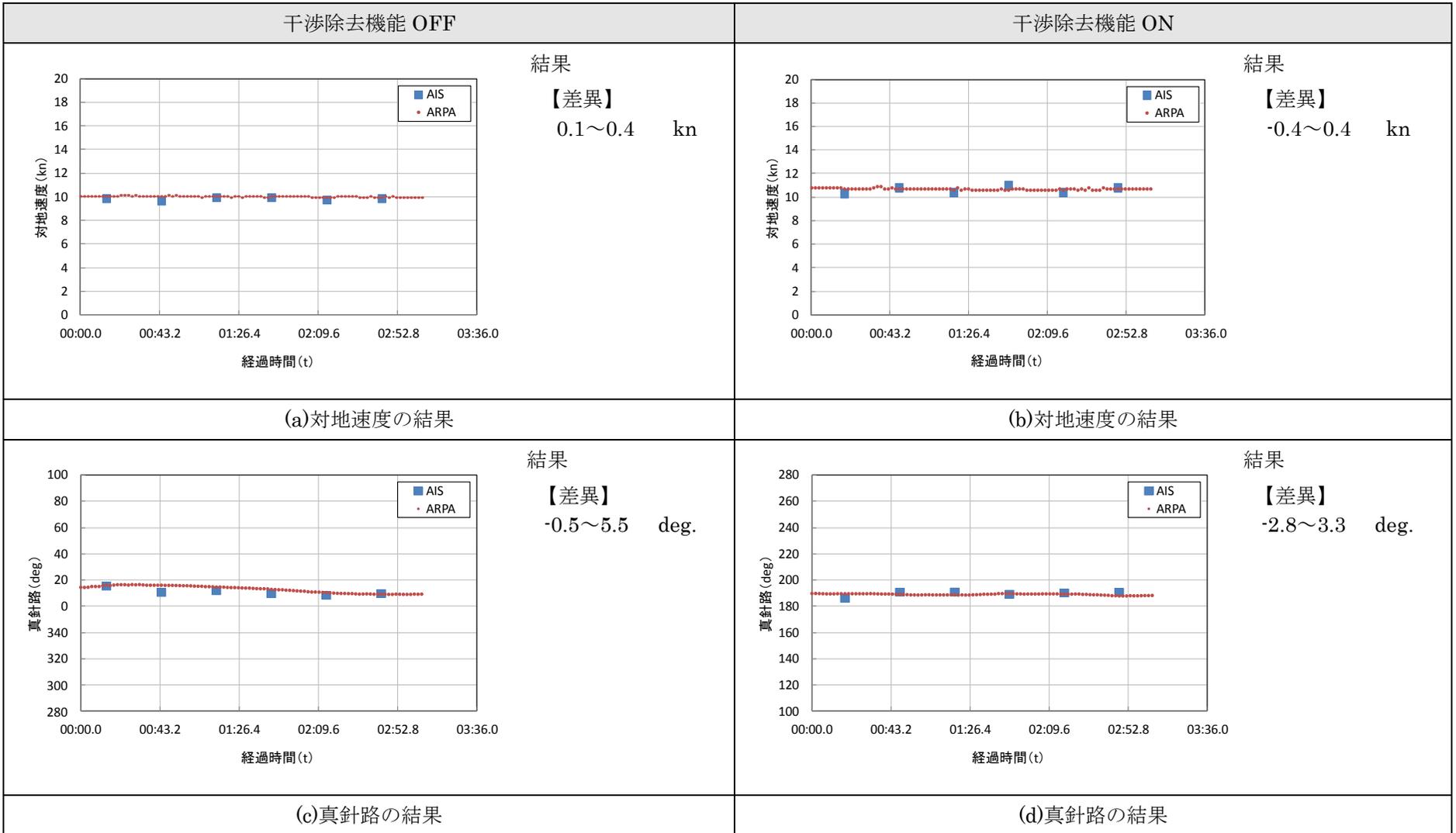
付図 7-13 シナリオ 1 実験 4-4 (MAG-C 社)



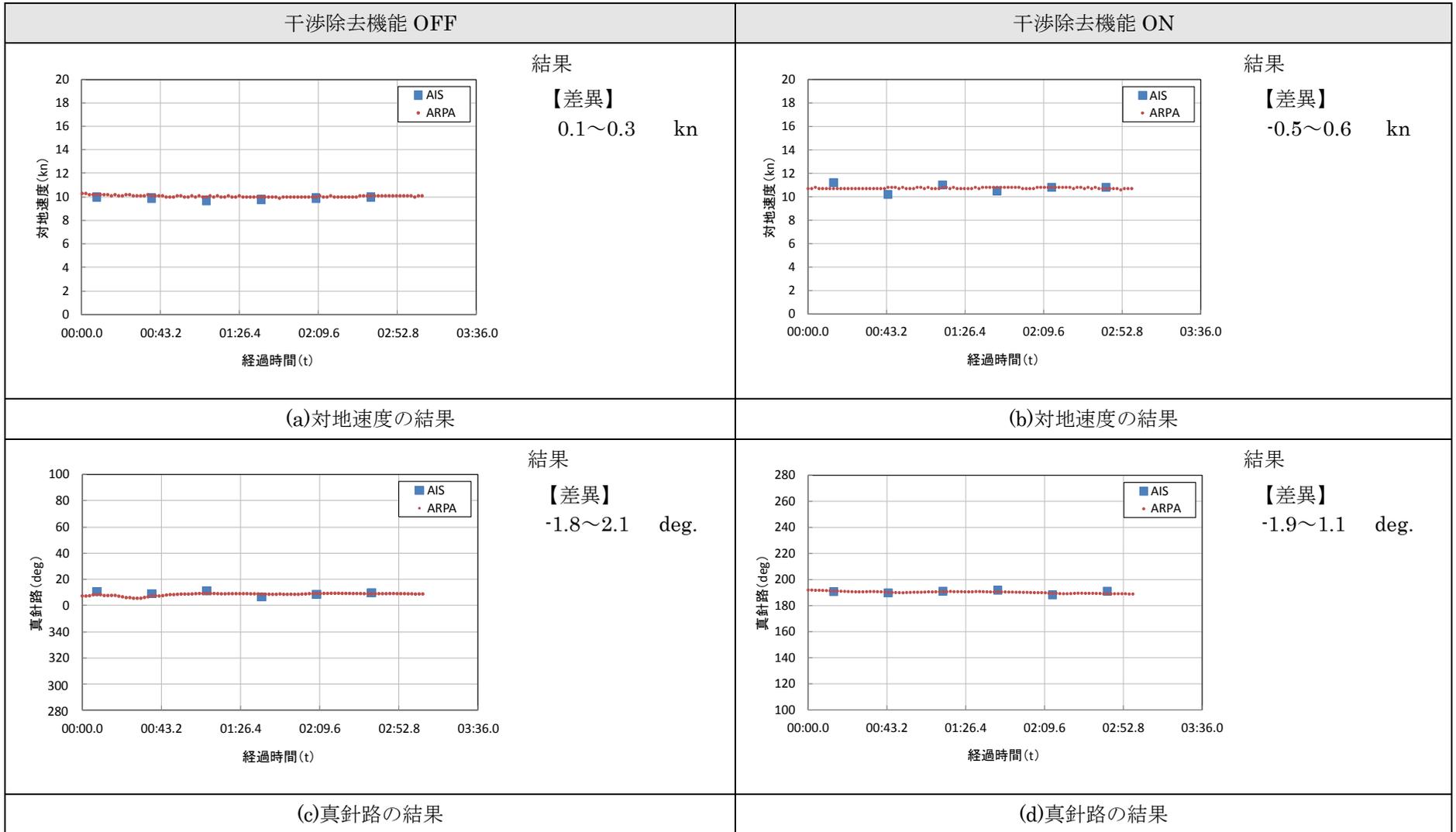
付図 7-14 シナリオ 2 実験 4-1 (MAG-A 社)



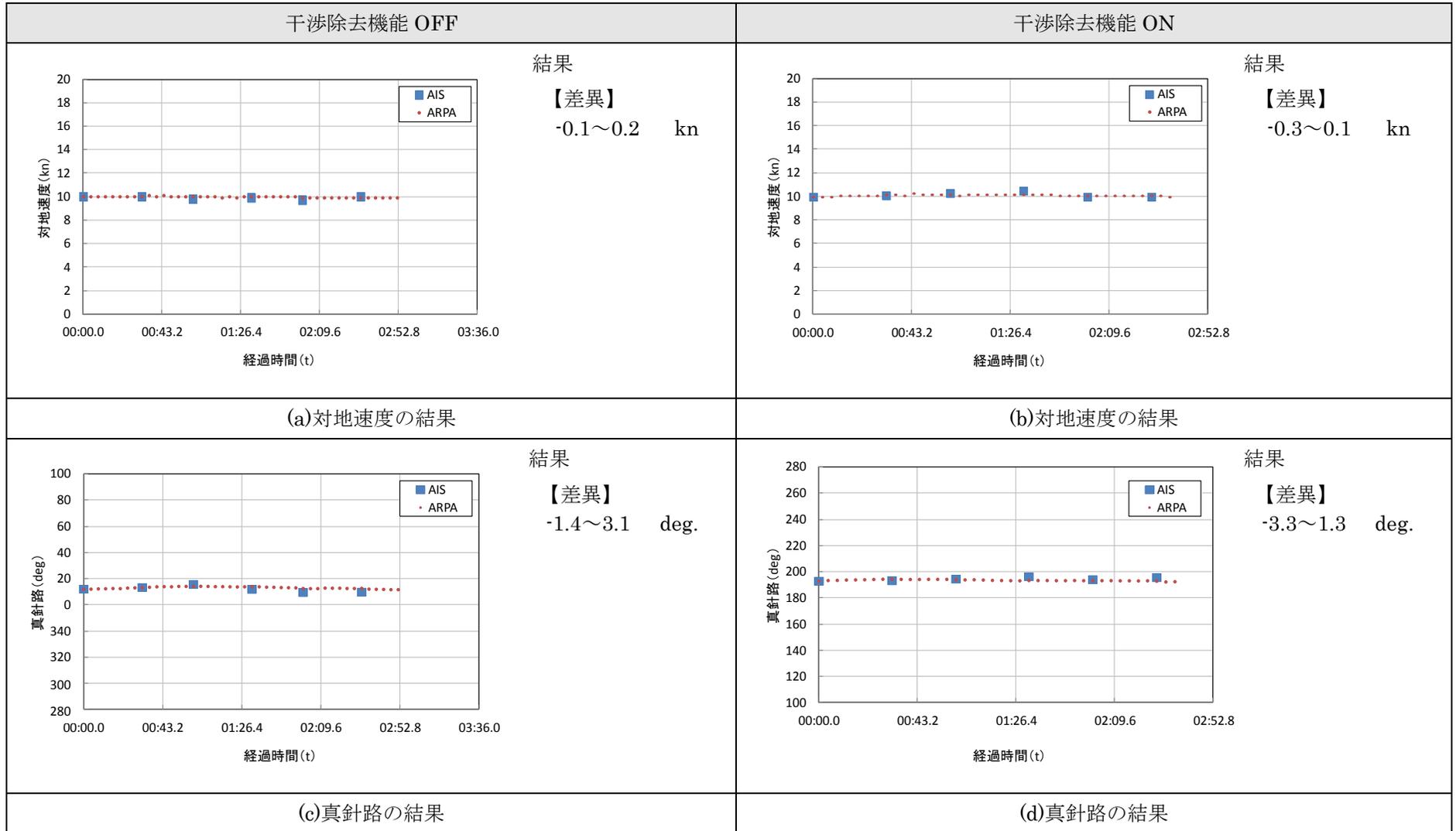
付図 7-15 シナリオ 2 実験 4-2 (MAG-A 社)



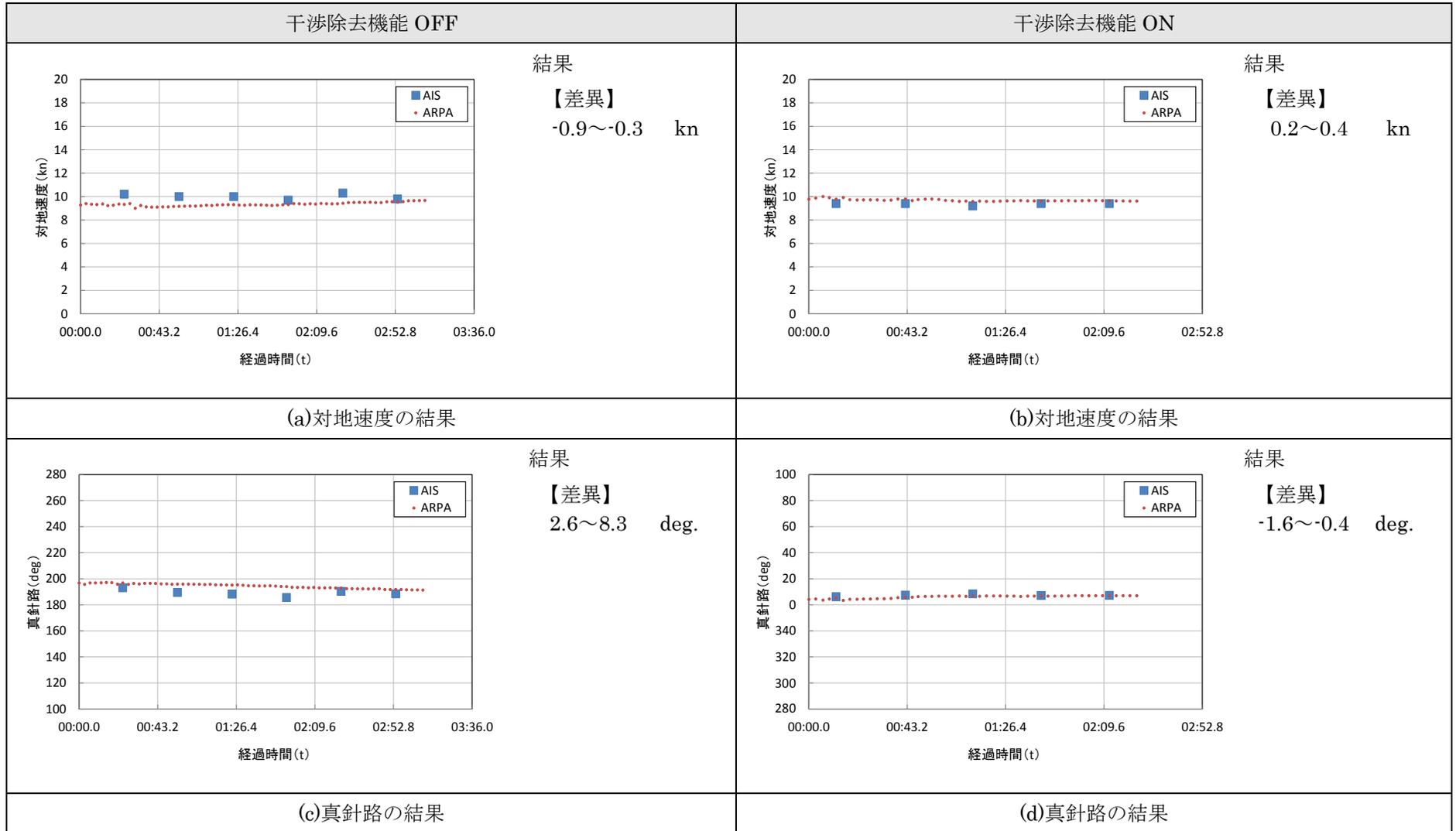
付図 7-16 シナリオ 2 実験 4-3 (MAG-A 社)



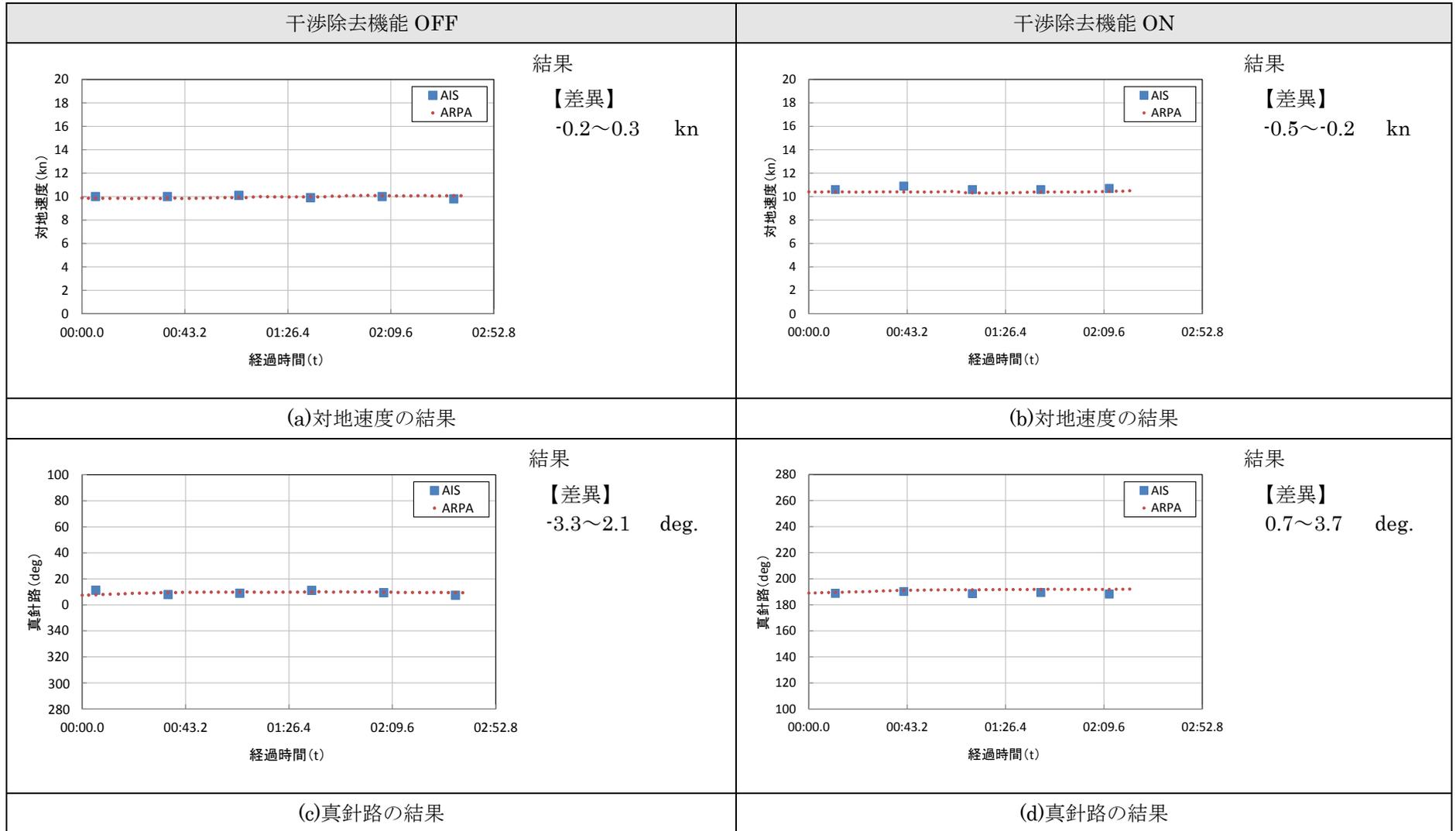
付図 7-17 シナリオ 2 実験 4-4 (MAG-A 社)



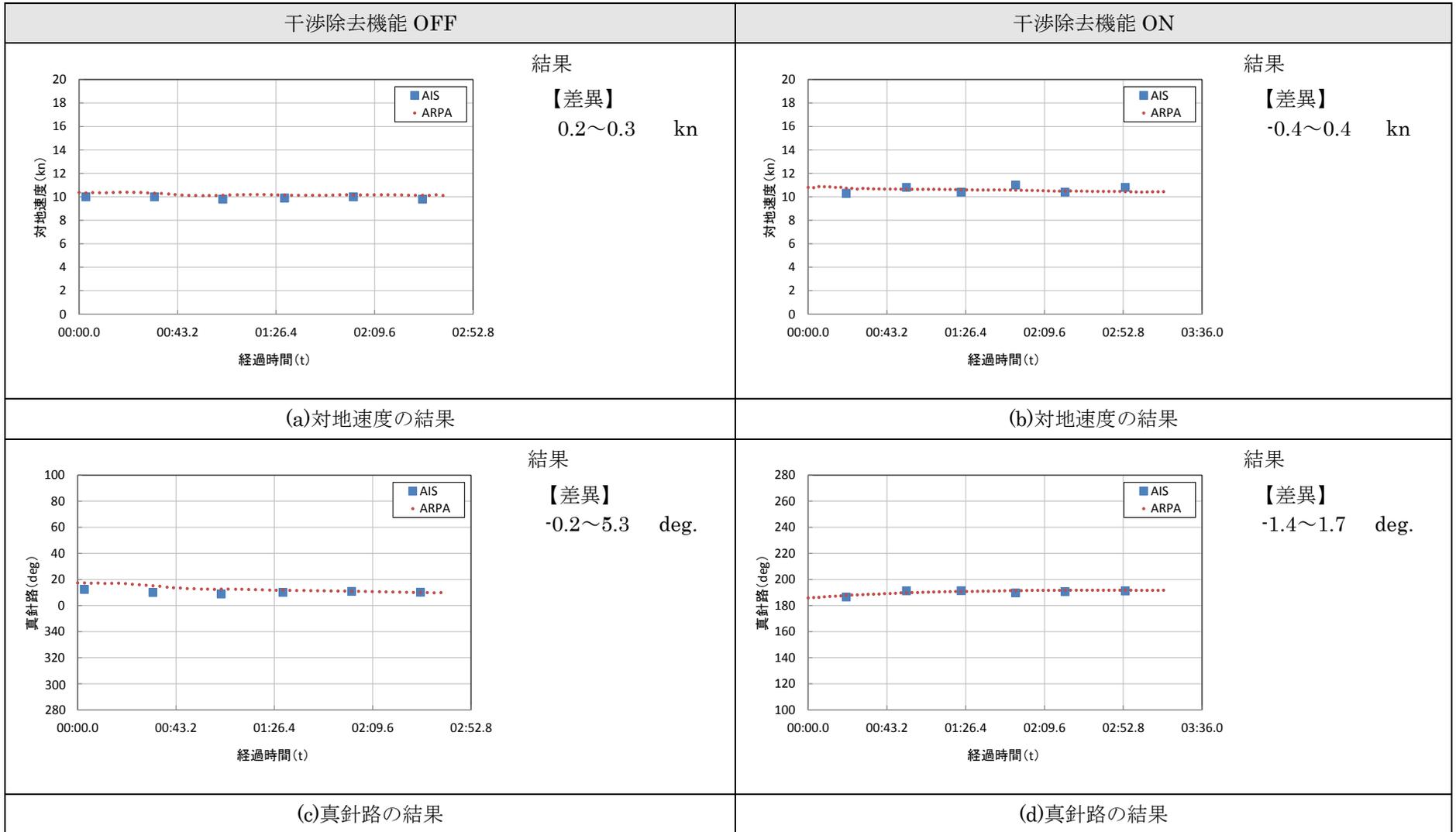
付図 7-18 シナリオ 2 実験 4-5 (MAG-A 社)



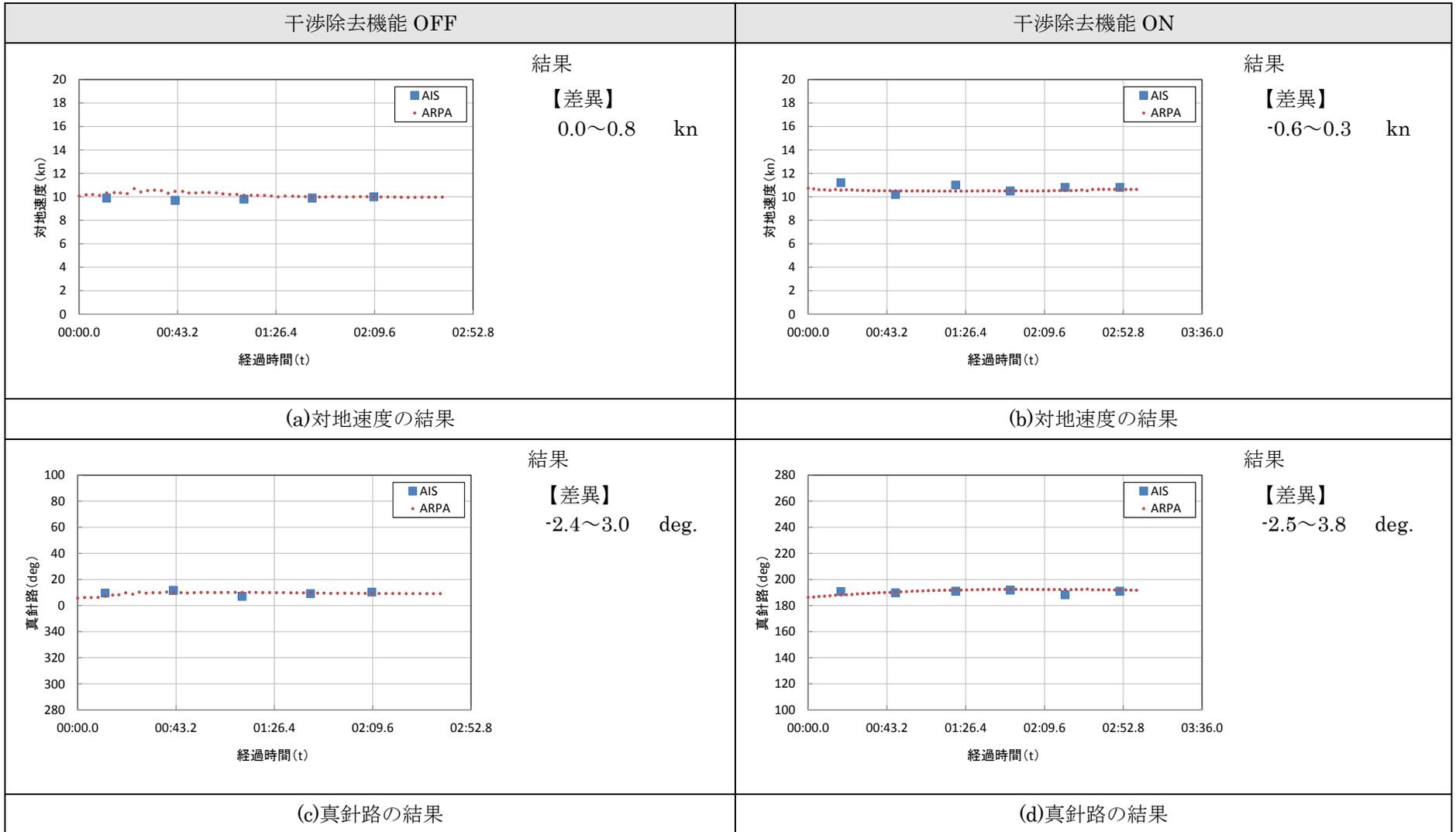
付図 7-19 シナリオ 2 実験 4-1 (MAG-B 社)



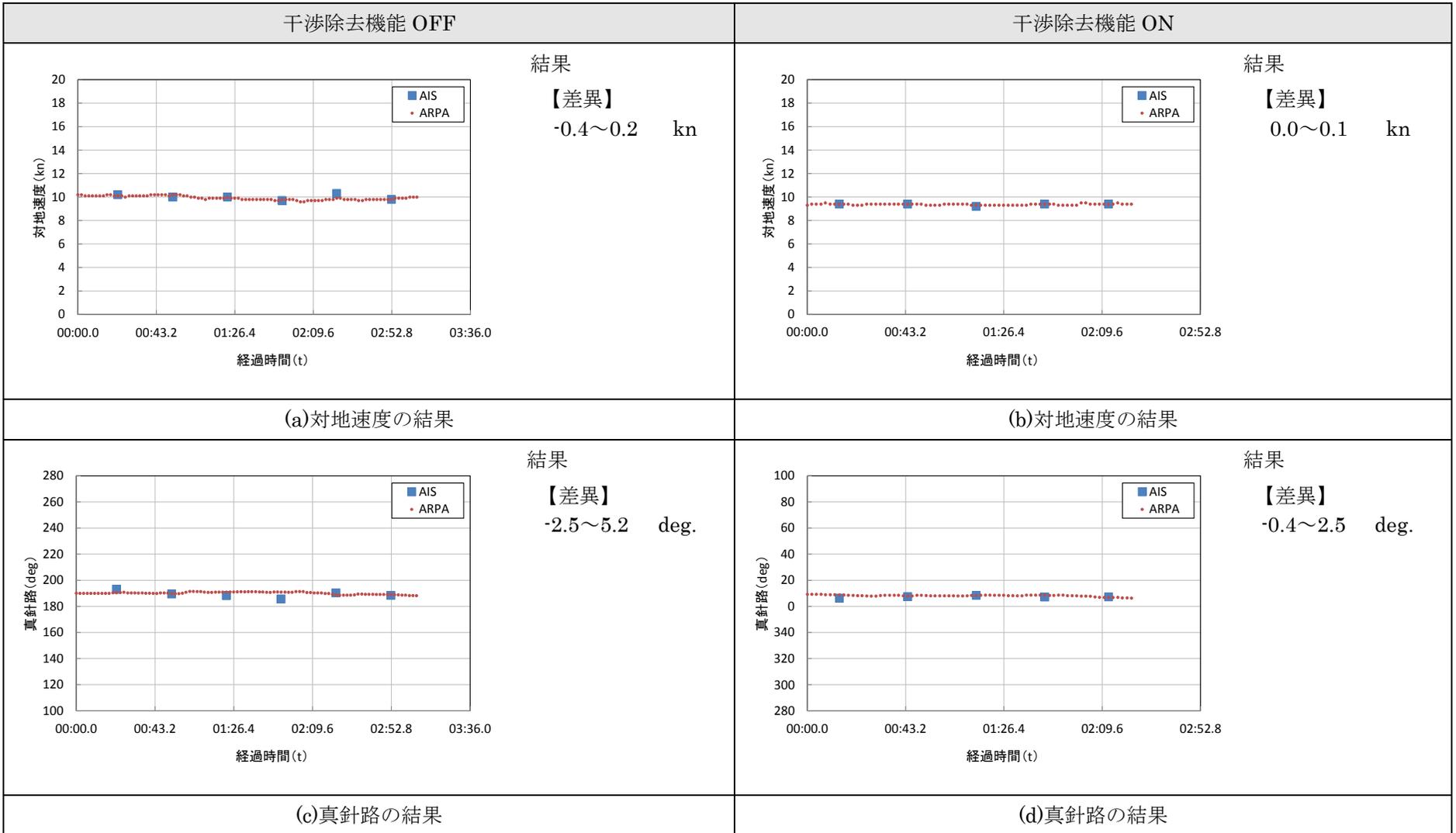
付図 7-20 シナリオ 2 実験 4-2 (MAG-B 社)



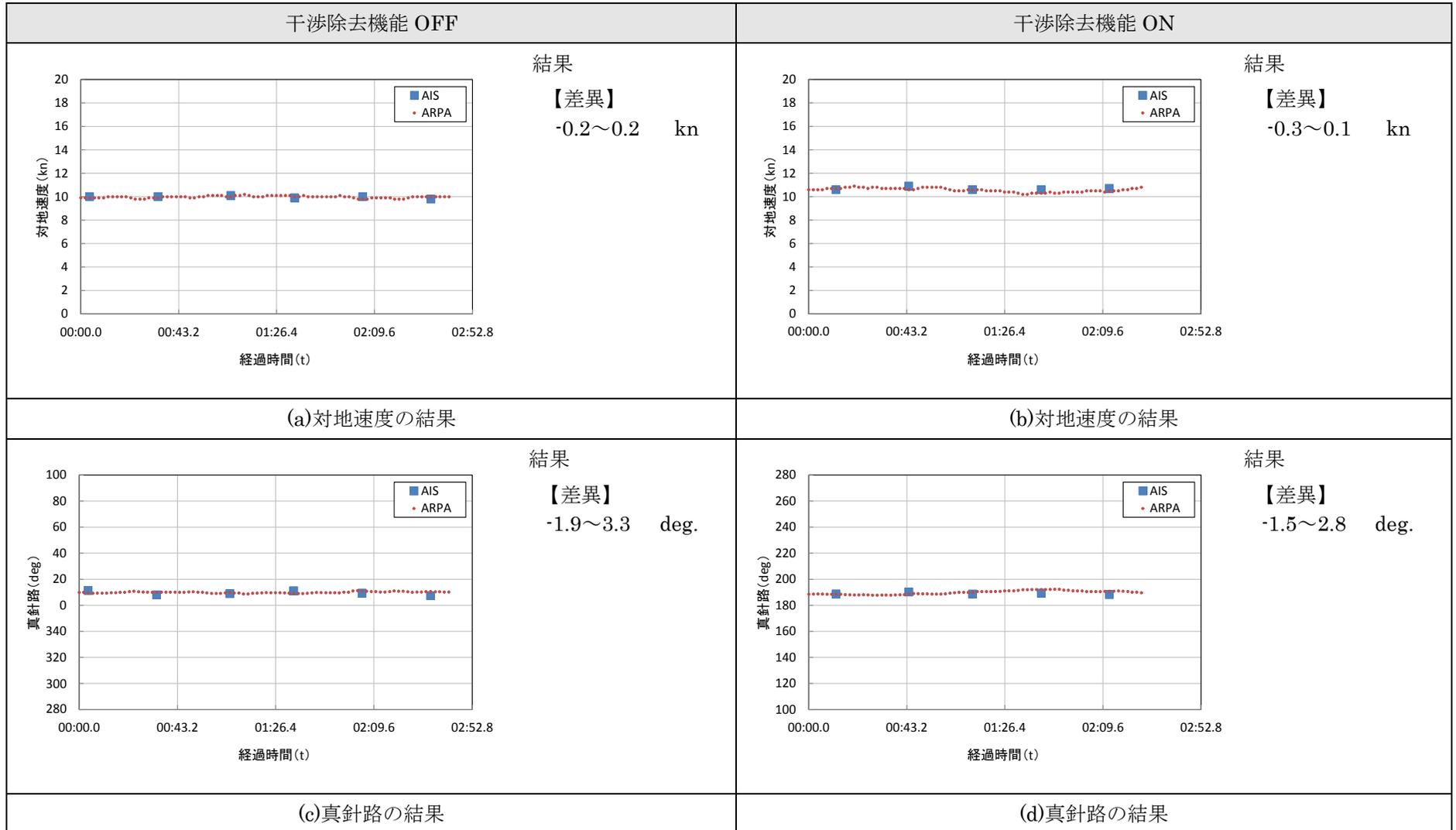
付図 7-21 シナリオ 2 実験 4-3 (MAG-B 社)



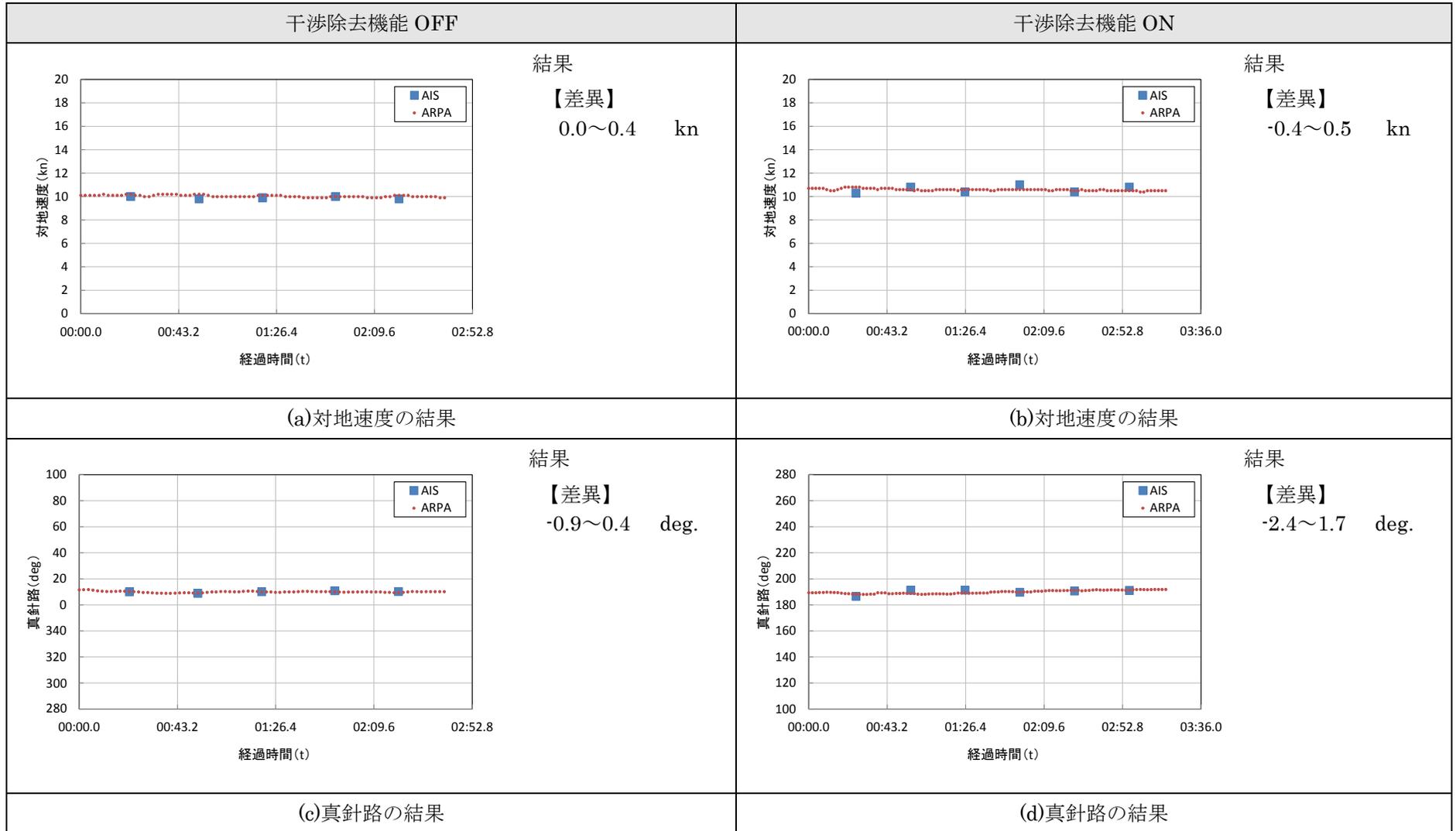
付図 7-22 シナリオ 2 実験 4-4 (MAG-B 社)



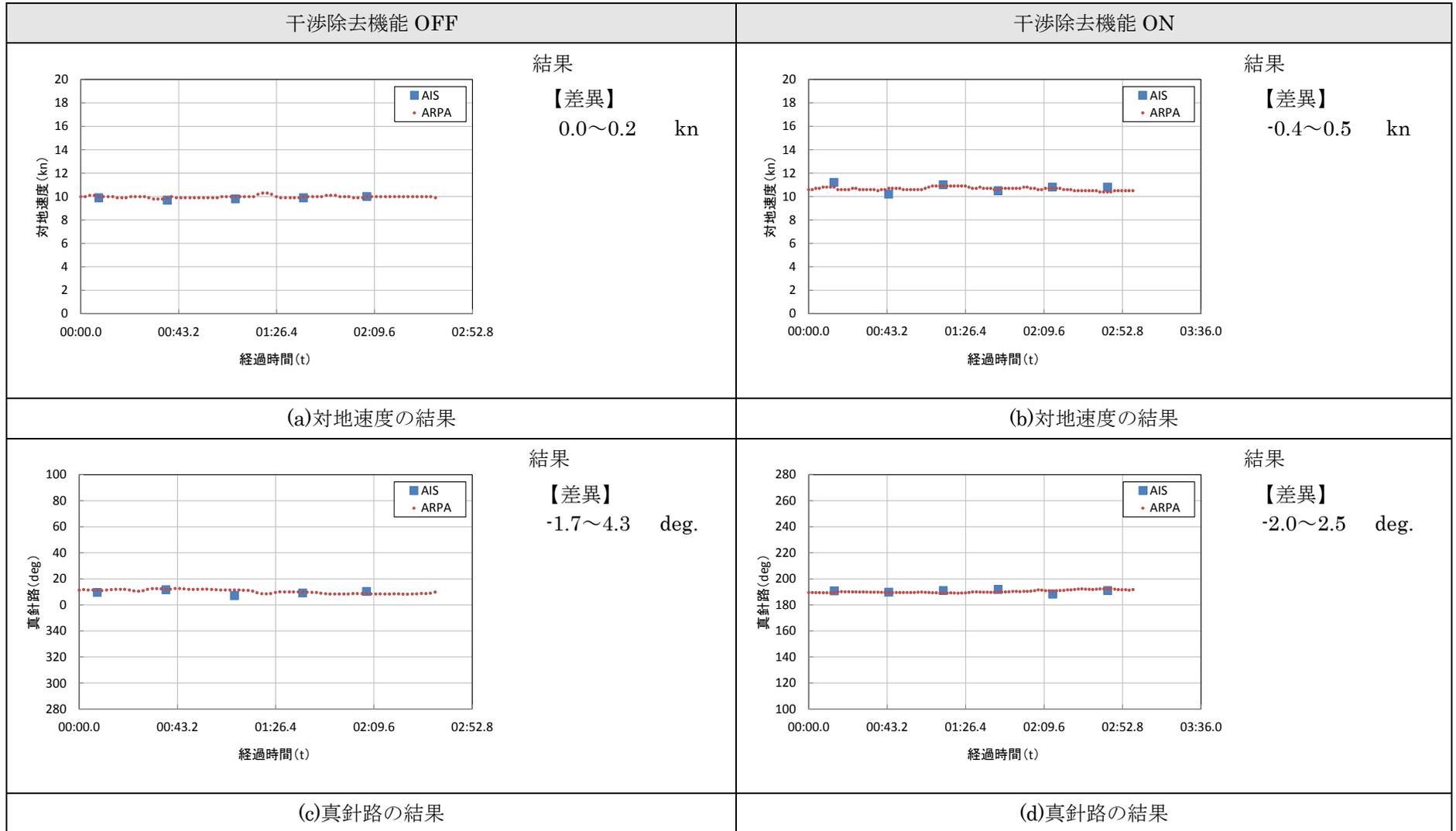
付図 7-23 シナリオ 2 実験 4-1 (MAG-C 社)



付図 7-24 シナリオ 2 実験 4-2 (MAG-C 社)



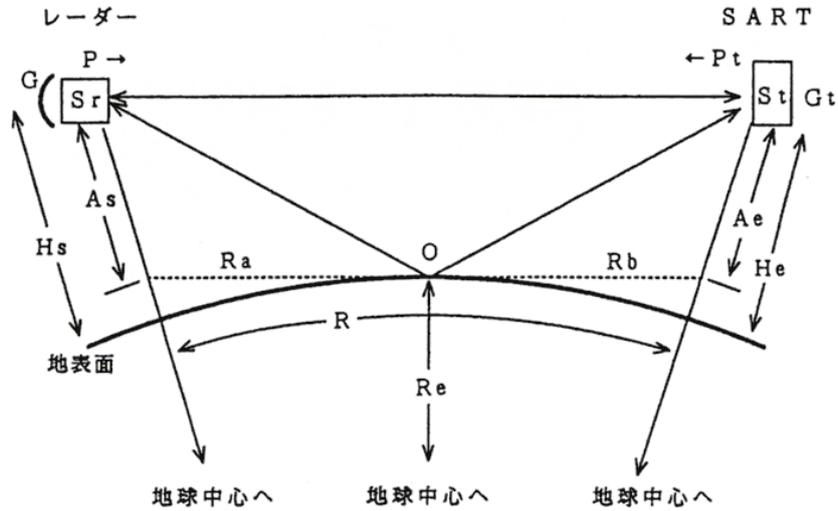
付図 7-25 シナリオ 2 実験 4-3 (MAG-C 社)



付図 7-26 シナリオ 2 実験 4-4 (MAG-C 社)

## SART に関するレーダー方程式

レーダー電波が海上を伝搬して SART に到達したとき、SART が応答するためには、SART の最小受信感度より大きい電力でなければならない。



SART のレーダー方程式に関する各パラメータの説明図

SART のレーダー方程式

$$St = \frac{P \times G \times At}{4 \times \pi \times R^2} \times 4 \times \sin^2 \frac{2 \times \pi \times As \times Ae}{\lambda \times R} \quad (\text{式 1})$$

$$As = Hs - \frac{R^2}{2 \times Re} \times \frac{Hs^2}{(Hs + He)^2}, \quad Ae = He - \frac{R^2}{2 \times Re} \times \frac{He^2}{(Hs + He)^2} \quad (\text{式 2})$$

Sr :	レーダーの受信電力	St :	SART の受信電力
P :	レーダーの尖頭出力	G :	レーダーのアンテナ利得
At :	SART の受信有効面積	R :	レーダーと SART の距離
As :	図中の高さ	Ae :	図中の高さ
Hs :	レーダーのアンテナの高さ	He :	SART の高さ
$\lambda$ :	レーダー電波の波長		
Pt :	SART の送信出力	Gt :	SART のアンテナ利得
Re :	レーダー電波に対する地球の等価半径 6371.2293km $\times 4/3$		

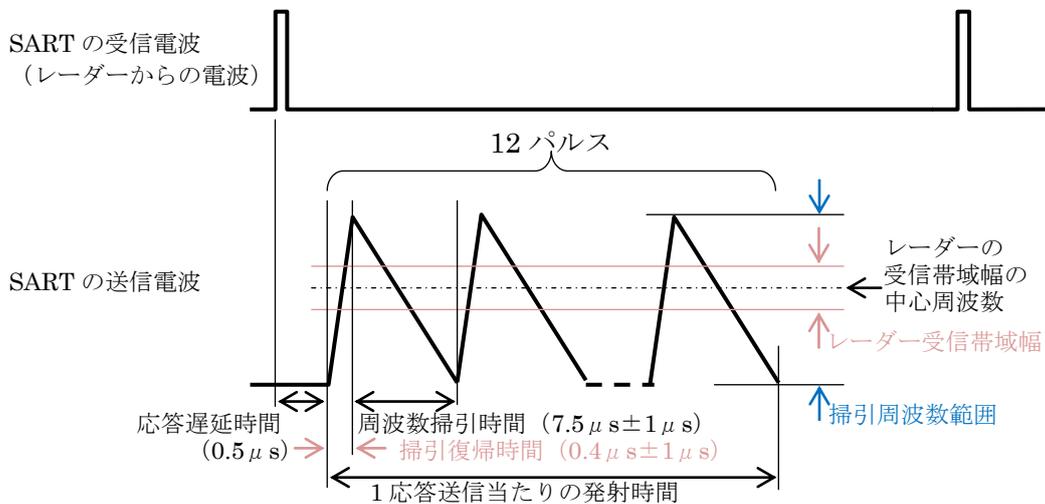
※：地表面（点 O）におけるレーダー電波の反射については、完全に反射し、位相が反転した状況（反射係数=-1）とする。

## 搜索救助用レーダー・トランスポンダー

搜索救助用レーダー・トランスポンダーは、「全世界的な海上遭難安全システム(GMDSS)」において、生存者の発見（ロケーティング）のために使用される救命設備である。搜索救助用レーダー・トランスポンダー（以下 SART という）は、搜索を行う船舶・航空機に搭載されている 9GHz 帯レーダーから発射されるレーダー波を受信すると、応答信号を発射し搜索側に生存者の位置を知らせるものである。

### 1. SART の動作

ITU-R M.628-4<sup>1</sup>より SART の受信電波と送信電波に関する動作を付図 9-1 に示す。SART はレーダーからの電波を受信した後に 12 パルスを送信する。なお、1 パルスにおいてレーダーの受信帯域幅を周波数掃引時間（forward sweep time）と掃引復帰時間（return sweep time）で通過することとなる。そのため、レーダーの画面では細い帯状の信号と太い信号で受信されることがあり、その状況は付図 9-2 の(a)干渉除去機能 OFF の図に現れている。



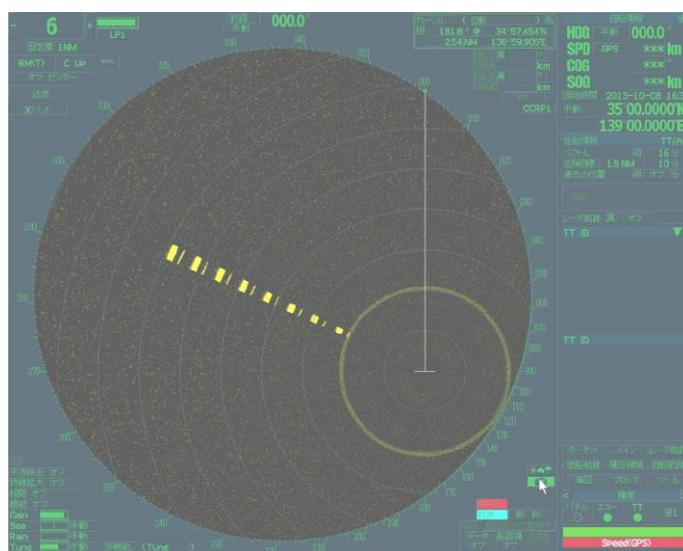
付図 9-1 SART の動作

実験で使用した SART は、1 回の応答送信を 12 回の周波数掃引で信号を構成する標準の SART を 8 回に改造を行ったものとする。

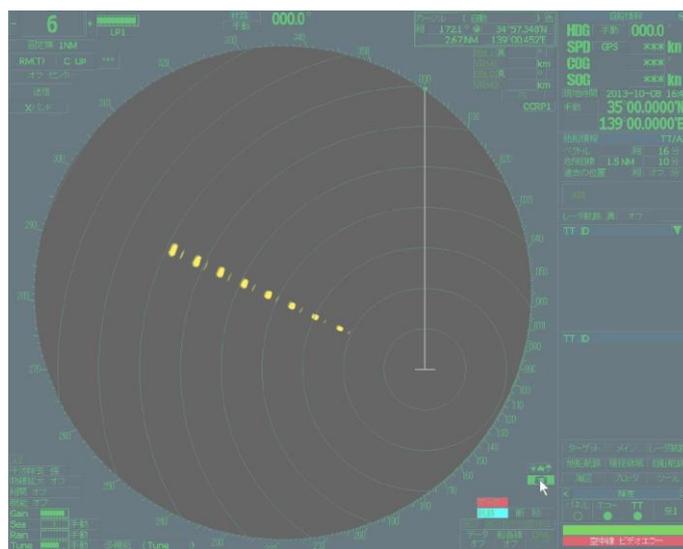
<sup>1</sup> ITU-R M.628-4 Annex1 Technical characteristics for search and rescue radar transponders operating over the band 9 200-9 500 MHz.

## 2. 電波暗室における SART 信号の表示

周波数掃引回数を 8 回に変更した SART 信号を取得した。取得したレーダー画面を付図 9-2 に示す。ここでは、掃引復帰時における送信電波がレーダーの最小受信感度よりも高く受信される状況であるため、前述したように掃引復帰時の 8 点も表示されている。干渉除去機能 OFF と ON におけるレーダー画面を比較すると、干渉除去機能により物標の輪郭付近が丸くなる。なお、レーダーの受信帯域を通過する時間が周波数掃引時と掃引復帰時で異なることから、レーダー画面上には幅の違う SART 信号が 16 個の点列となって連続して表示されている。ただし、レーダー画面の解像度によっては、幅の違いを確認することができない場合がある。



(a) 干渉除去機能 OFF

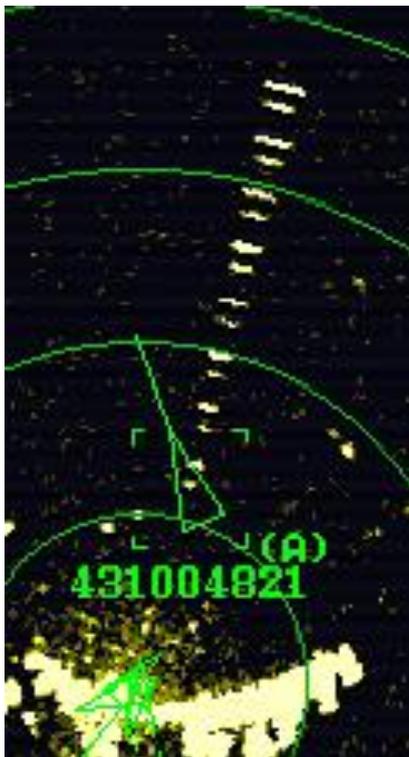


(b) 干渉除去機能 ON (強)

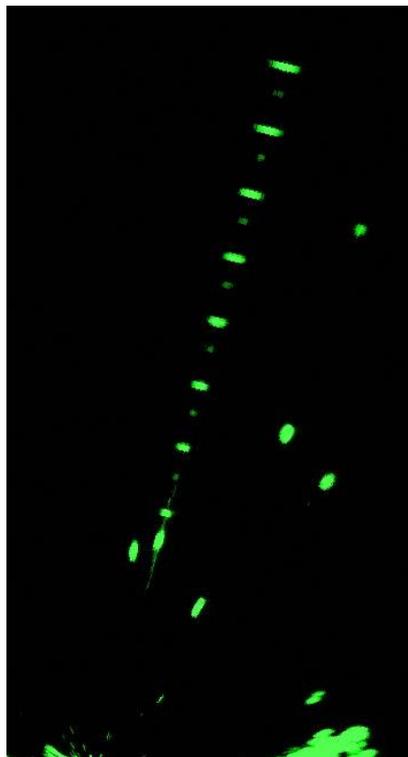
付図 9-2 SART 信号の表示確認

### 3. 実験の SART 信号のレーダー画面

実験における SART 信号を表示したレーダー画面を付図 9-3 に示す。ここでは、マグネトロンレーダー (MAG-B 社) と固体素子レーダー (SS-D 社) のレーダー画面を掲載している。実験で取得したレーダー画面にも、電波暗室における表示と同様に掃引復帰時の 8 点も表示されている。これらのレーダー画面は、各レーダーから SART までの距離が約 2 海里のときに観測している。2 海里における伝搬損失は 9GHz 帯で約 123dB、SART の送信電力は+28dBm、レーダーのアンテナ利得は約 30dBi であることから、理論計算では、各レーダーにおける受信電力は、 $-65\text{dBm}$  ( $= 28 - 123 + 30$ ) 程度となる。レーダーの一般的な最小受信感度は $-95\text{dBm}$ 程度はあることから、約 2 海里の距離で観測されたレーダー画面には掃引復帰時の 8 点も表示されている。なお、SART 信号の表示の違いは、各レーダーの Gain、干渉除去機能および画面解像度の違いによるものである。



(a) MAG-B 社



(b) SS-D 社

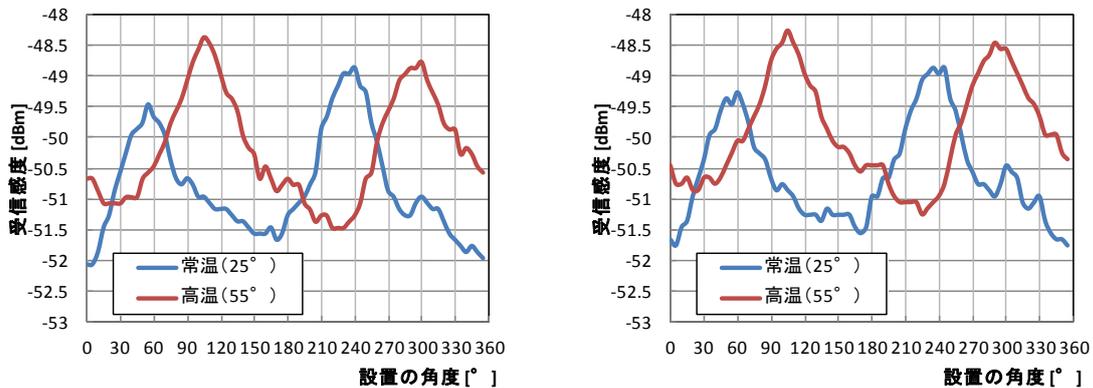
付図 9-3 受信された SART 信号のレーダー画面の一例

#### 4. 実験で使用した SART の受信感度特性

本実験で使用した SART の受信感度特性の結果を付図 9-4 に示す。受信感度特性の測定は、独立行政法人情報通信研究機構の協力を頂いた。

電波暗室内に SART を設置し、標準信号発生器からの送信電力を変えて SART が応答する受信電力の測定を行った。この際、標準信号発生器に取り付けたアンテナと SART の設置高は同じとした。測定では、周波数を 9353MHz と 9410MHz、室内温度を常温 (25°) と高温 (55°) に設定し、水平方向に 5 度毎の SART の受信感度特性を記録した。本測定は受信感度特性の周囲温度による変化を確認することを目的としたため、設置の角度は常温と高温の測定で異なっている。

SART の受信感度の結果を付表 9-1 に掲げる。SART の受信感度の平均値は、概ね -50dBm である。SART の受信感度は、水平方向の装置角度により 3dB 程度の変化があるが、-50dBm を基準にすると ±2dB 程度の範囲である。



(a) 9353MHz

(b) 9410MHz

付図 9-4 SART の受信感度特性 (設置角度と温度変化)

付表 9-1 SART の受信感度の結果

周波数	温度	受信感度 (受信電力)			
		平均値(dBm)	最小値(dBm)	最大値(dBm)	感度幅(dB)
9353MHz	常温 (25°)	-50.8	-52.1	-48.9	3.2
	高温 (55°)	-50.2	-51.5	-48.4	3.1
9410MHz	常温 (25°)	-50.6	-51.8	-48.9	2.9
	高温 (55°)	-49.9	-51.3	-48.3	3.0

## 固体素子レーダーの SART 信号に関する考察

### 1. 概要

実験 9 において、固体素子レーダーの画面上表示された SART 信号が 8 点ではなく、ライン状となった現象に関する検討を以下に示す。

### 2. パルス圧縮レーダー

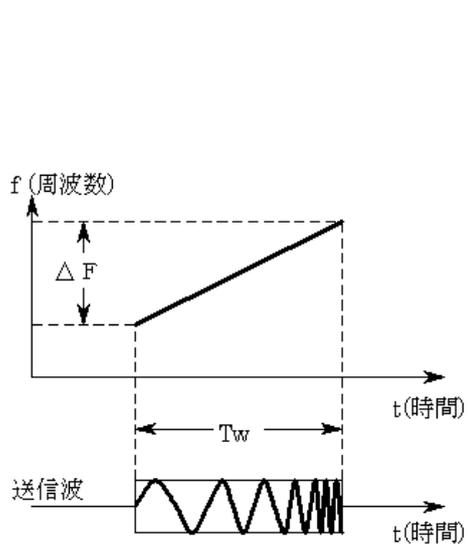
固体素子レーダーはパルス圧縮方式である。付図 10-1 はパルス圧縮レーダーの送信波形で、送信パルス内の周波数が時間とともに高くなる周波数変調 (FM) がかけられる。同図のように、長いパルス波  $T_w$  の期間で周波数が  $\Delta F$  だけ偏移する。このような信号を FM チャープ信号と呼ぶ<sup>1</sup>。

物標で反射された電波は、受信機内で付図 10-2 に示すような周波数に対して時間遅延を持たせる処理を Pulse compression network (パルス圧縮回路) で行うことにより、パルス幅を圧縮して距離分解能を確保する。処理された出力波形の幅  $T_p$  は  $\Delta F$  の逆数となり、原パルス幅  $T_w$  とは無関係に圧縮される。出力パルスの振幅は送信波の  $(T_w \cdot \Delta F)^{1/2}$  倍に大きくなって受信される。電力では電圧の自乗となるので、 $T_w \cdot \Delta F$  倍となる。この積をパルス圧縮比と呼び、パルス圧縮処理によって向上する利得を表す。単一周波数の通常のパルスにおいて、実効帯域幅  $B_p$  は概ね  $1/t_p$  ( $t_p$  はパルス幅) である。従って、パルス幅と帯域幅の積は“1”である。一方、パルス圧縮ではこの積が“1”以上となり、システムの利得が向上するため、低い送信ピーク電力でも探知距離性能を確保することができる。また、送信信号の周波数掃引 (チャープ) 極性<sup>2</sup>について付図 10-3 に示す。

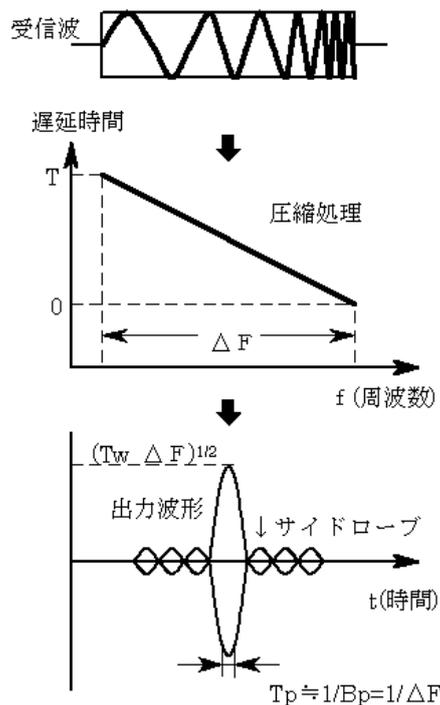
---

<sup>1</sup>日本航路標識協会「平成 15 年度 新マイクロ波標識の開発に関する調査研究中間報告書」

<sup>2</sup> Bassem R. Mahafza, Ph.D.(2000). *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. CHAPMAN & HALL/CRC. Chap.5.3. Linear Frequency Modulation Waveforms.



付図 10-1 パルス圧縮レーダーの送信波形



付図 10-2 パルス圧縮処理と出力特性

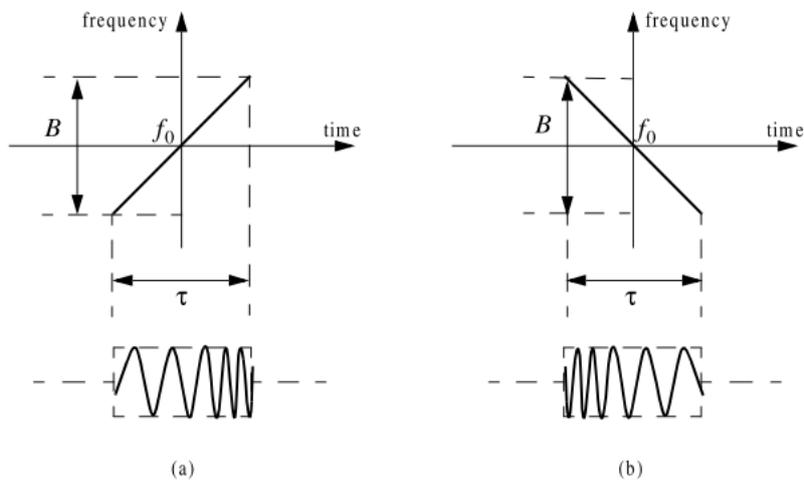


Figure 5.6. Typical LFM waveforms. (a) up-chirp; (b) down-chirp.

付図 10-3 (左) アップチャープ信号と (右) ダウンチャープ信号

### 3. SART 信号に関する考察

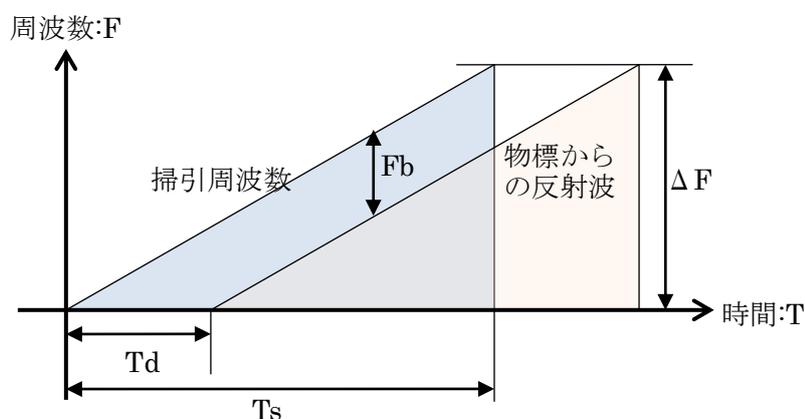
固体素子レーダーにおいて、正常時は受信信号の周波数変化特性とパルス圧縮フィルタの周波数変化特性が一致するため、パルス圧縮処理後にパルス幅  $1/B$  のパルス信号が出力される。しかし、受信信号の周波数変化特性とパルス圧縮フィルタの周波数変化特性に不一致が生じた場合、不一致の程度に応じて、パルス圧縮後の出力の距離方向にレンジサイドローブが生じる。この不一致の程度が大きくなるにつれて、レンジサイドローブのレベルが上昇し、最悪条件ではレンジサイドローブがメインローブのレベルと同程度まで上昇する。この場合、受信信号が引き延ばされたような出力となる。

今回の実験において、SART の応答信号がライン状に表示された固体素子レーダーがあった。これは、SART の応答信号の無変調パルスとパルス圧縮フィルタの周波数変化特性が一致しないことにより、パルス圧縮処理により SART 信号が距離方向に引き延ばされたと考えられる。なお、実験において、SART 信号が 8 点で表示されていた固体素子レーダーもあったことから、信号処理により固体素子レーダーにおいても SART の応答信号を表示することは可能であることと、SART 信号との周波数変化特性が一致すれば、特性差異が小さくなり、距離方向への引き延ばされ方は軽微になると考えられる。

## FMCW レーダーの SART 信号に関する考察

### 1. FMCW の原理

FMCW レーダーは時間とともに周波数を上げた信号（又は下げた信号）を送信し、掃引周波数と物標から反射してくる電波の周波数差（ビート周波数）をフーリエ変換することにより、レーダーから物標までの距離を求める<sup>1</sup>。物標までの距離と反射信号の遅れ時間が比例することから、距離が近いほど周波数差は小さくなり、距離が遠くなるほど周波数差は大きくなる。



$\Delta F$  : 掃引周波数幅  
 $T_s$  : 掃引時間  
 $F_b$  : 掃引周波数と物標からの反射波の周波数差（ビート周波数）  
 $T_d$  : 物標からの反射波を受信するまでの時間

付図 11-1 FMCW の概念図

### 2. SART 信号に関する考察

実験 9 において、FMCW レーダーの受信タイミングで SART が応答信号を送信していた場合、SART の掃引周波数が 9174MHz~9543MHz、FMCW レーダーの掃引周波数が 9320MHz~9385MHz であるため、0~223MHz のビート周波数が発生する。FMCW レーダーはビート周波数をフーリエ変換し、距離に換算するので、SART を設置した船舶の方向に干渉が入ったような表示となる。実際には FMCW レーダーの AD コンバータのサンプリングレートによって、感度やサンプルするビート信号に違いが生じるため、FMCW レーダーの受信タイミングで送信されていたとしても表示されない可能性も考えられる。

<sup>1</sup>日本航路標識協会「平成 15 年度 新マイクロ波標識の開発に関する調査研究中間報告書」

## 図の一覧

本編に掲載した図の一覧を以下に示す。

図 1.1-1	船舶用固体素子レーダーについて.....	1
図 2.2-1	実験場所の概要.....	7
図 2.2-2	実験場所の状況.....	8
図 2.5-1	実験全体の配置.....	12
図 2.5-2	各船舶への設置状況.....	14
図 2.5-3	固体素子レーダーの設置状況.....	15
図 2.6-1	ターゲット船および反射器の曳航時のイメージ.....	19
図 2.6-2	反射器の概観と曳航の様子.....	19
図 3.1-1	実験 1 における配置図.....	21
図 3.1-2	実験 1-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11) .....	24
図 3.1-3	実験 1-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6) .....	25
図 3.2-1	実験 2 における配置図.....	27
図 3.2-2	実験 2-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4) .....	32
図 3.2-3	実験 2-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8) .....	33
図 3.2-4	実験 2-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6) .....	34
図 3.2-5	実験 2-2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11) .....	35
図 3.2-6	実験 2-4,6 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6) .....	36
図 3.2-7	実験 2-8,10 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6) .....	37
図 3.2-8	実験 2-4,6 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11) .....	38
図 3.2-9	実験 2-8,10 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11) .....	39
図 3.2-10	実験 2-2,25 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6) .....	40
図 3.2-11	実験 2-2,25 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11) .....	41
図 3.3-1	実験 3 における配置図.....	43
図 3.3-2	実験 3-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4) .....	46
図 3.3-3	実験 3-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4) .....	47
図 3.3-4	実験 3-1,2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8) .....	48
図 3.3-5	実験 2-1、3-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-4、干渉除去機能 OFF) .....	49
図 3.3-6	実験 2-1、3-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-8、干渉除去機能 OFF) .....	50
図 3.4-1	実験 4 シナリオ 1 における実験配置図.....	52
図 3.4-2	実験 4 シナリオ 2 における実験配置図.....	53
図 3.4-3	AIS と ARPA による真針路の差異の比較 (MAG-B 社) .....	56
図 3.4-4	AIS と ARPA による対地速度の差異の比較 (MAG-B 社) .....	58
図 3.5-1	実験 5 における配置図.....	59

図 3.5-2	実験 5-1 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-1)	61
図 3.5-3	実験 5-2 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-3)	62
図 3.6-1	固体素子レーダー相互の干渉における配置 (実験 6 項目 1~3)	63
図 3.6-2	実験 6 項目 4~12 における配置図	64
図 3.6-3	実験 6-3 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)	67
図 3.6-4	実験 6-8、11 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)	68
図 3.6-5	実験 6-2 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)	69
図 3.6-6	実験 6-7 におけるレーダー画面 (SS-B 社-2、設定-15)	70
図 3.6-7	実験 6-10 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)	71
図 3.6-8	実験 6-3 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)	71
図 3.6-9	実験 6-9、12 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)	72
図 3.7-1	実験 7 における配置図	74
図 3.7-2	実験 7-2、4 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)	77
図 3.8-1	実験 8 における配置図	78
図 3.8-2	実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-2)	82
図 3.8-3	実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-5)	83
図 3.8-4	実験 8-1 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-9)	84
図 3.8-5	実験 8-1 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)	85
図 3.8-6	実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)	85
図 3.8-7	実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)	85
図 3.8-8	実験 8-1 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)	86
図 3.8-9	実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-A 社、設定-3)	86
図 3.8-10	実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-B 社、設定-6)	87
図 3.8-11	実験 8-2 におけるレーダー画面 (MAG-C 社、設定-11)	88
図 3.8-12	実験 8-2 におけるレーダー画面 (FMCW-A 社、設定-12)	89
図 3.8-13	実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-B 社-1、設定-13)	89
図 3.8-14	実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-D 社、設定-17)	89
図 3.8-15	実験 8-2 におけるレーダー画面 (SS-E 社、設定-20)	90
図 3.9-1	SART の設置状況	91
図 3.9-2	SART の外観	92
図 3.9-3	SART までの距離の変化と受信電力	95
図 3.9-4	実験 9 における配置図	96
図 3.9-5	SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-B 社-1)	97
図 3.9-6	SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-D 社)	98
図 3.9-7	SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (SS-E 社)	99
図 3.9-8	SART の応答信号が表示されたレーダー画面の一例 (MAG-B 社)	100
図 3.9-9	SART 信号が表示されたレーダー画面の一例	101

## 用語解説

### 海里 (NM : Nautical Mile)

海で用いる長さの単位。地球表面上で緯度 1 分に相当する長さが 1 海里 (1,852 メートル)。

### 国際海事機関 (IMO : International Maritime Organization)

船舶の安全および船舶からの海洋汚染の防止等、海事問題に関する国際協力を促進するための国連の専門機関として 1958 年に設立。

### 自動衝突予防援助装置 (ARPA : Automatic Radar Plotting Aids)

トラッキング (反射信号の追尾) を行うとともに、過去のデータから速度、方位を計算し、進路や自船との衝突の危険度を表している。

### 船舶自動識別装置 (AIS : Automatic Identification System)

船舶の識別符号、種類、位置、針路、速力、航行状態およびその他の安全に関する情報を自動的に VHF 帯電波で送受信し、船舶局相互間および船舶局と陸上局の航行援助施設等との間で情報の交換を行うシステム。

### 真針路

真北を基準にして測った船首方位。

### 捜索救助用レーダー・トランスポンダー (SART : Search And Rescue Transponder)

GMDSS による設備の一つ。船舶や航空機に搭載されている 9GHz 帯の電波を使用し、遭難船から送信された位置情報等を捜索側の船舶や航空機のレーダー画面上に表示させる装置。

### 対地速度

地面に対する物体の速度。

### パルス圧縮 (Pulse Compression)

レーダーの距離分解能を向上するために、送信パルスとして特定信号で変調し (チャープ変調)、スペクトル拡散した広帯域パルスを用いて、受信後データ処理の段階で復調 (圧縮) すること。

### 平均化処理

各スキャンの同じ場所における受信電力のレベルを平均化する。

### FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave)

周波数変調連続波。正弦波に繰返し周波数変調を加え、物標からの反射波と送信周波数の一部を混合し、ビート周波数を計測することによって、物標とレーダー間の距離を計測する。

### FTC : 雨雪反射制御 (Fast Time Constant)

レーダー電波の雨雪からの反射を抑制する機能。雨雪の反射除去に使用する。近接した輪郭のはっきりしない映像にも効果があるが弱い映像は出にくくなるので注意する必要がある。

### GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System)

船舶が遭難した際、従来のモールス信号ではなく人工衛星等の近代的な通信技術による通信網を利用できるようにしたシステム。

### PRF : パルス繰返し周波数 (Pulse Repetition Frequency)

パルスレーダでは送信パルスは繰返して送信、反射される。この送信パルスの繰返す周波数。

### PRI : パルス繰返し間隔 (Pulse Repetition Interval)

周期的パルス列における最初のパルス波形のパルス開始時間と、次のパルス波形のパルス開始時間との間隔。

### STC : 海面反射除去 (Sensitivity Time Control)

レーダー電波の海面反射を抑制する機能。波浪による反射がある場合、つまみを時計方向に回していくと近距離の感度が下がり、海面反射は消える。しかし、このとき海面反射と同じ強度の物標の映像も消えてしまうので、STC を操作するときは注意が必要である。

## 参考資料

- 1) ITU-R M.628-4 "Technical characteristics for search and rescue radar transponders", 2006.
- 2) IMO RESOLUTION A.802 "PERFORMANCE STANDARDS FOR SURVIVAL CRAFT RADAR TRANSPONDERS FOR USE IN SEARCH AND RESCUE OPERATIONS".
- 3) IMO RESOLUTION MSC.192(79) ADOPTION OF THE REVISED PERFORMANCE STANDARDS FOR RADAR EQUIPMENT.
- 4) 福戸 淳司他, "AIS の実海域実験について,"海上技術安全研究所,2001.
- 5) 社団法人 日本船舶電装協会, 船舶電気装備技術講座 (GMDSS・レーダー) 基礎理論編, 日本財団助成事業, 2003.
- 6) 日本航路標識協会「平成 15 年度 新マイクロ波標識の開発に関する調査研究中間報告書」
- 7) 細矢良雄 監修, 電波伝搬ハンドブック, 株式会社リアライズ社, 1999.
- 8) 吉田孝 監修, レーダー技術, 社団法人電子通信学会, 1984.
- 9) 若井登, 後藤尚久 監修, 電波辞典, 株式会社クリエイト・クルーズ, 2000.

9GHz帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用等に関する調査検討報告書

【平成25年11月】

9GHz帯船舶用固体素子レーダーの周波数共用等に関する調査検討会

発行 総務省信越総合通信局

事務局 総務省 信越総合通信局 無線通信部 企画調整課

〒380-8795 長野市旭町 1108 番地 長野第一合同庁舎

電話 026-234-9953 FAX 026-234-9947

電子メール [shinetsu-kikaku@soumu.go.jp](mailto:shinetsu-kikaku@soumu.go.jp)

ホームページ <http://www.soumu.go.jp/soutsu/shinetsu/>