

技術試験衛星VII型(ETS-VII)「接近・離脱飛行技術実験」結果について(速報)

宇宙開発事業団

1. 報告事項

平成11年10月26日～27日にかけて行った、ETS-VIIの「接近・離脱飛行技術実験」結果、及びスラスタ異常発生時のドッキング接近データの取得を目的とした運用結果について報告する。

2. 実験の目的・内容

今回の実験の目的は、当初のETS-VIIランデブ・ドッキング(RVD)実験計画のうち、これまで未達成となっていた以下の実験を行うことにある。

- ① 遠隔操縦による離脱・接近 : 将来の衛星点検等、人間の高度な適応能力を活かしたランデブに必要な技術の実証。
- ② 衝突回避マヌーバ(CAM) : 近傍域での異常時にスラスタを噴射して能動的に離脱し衝突を回避する技術の実証。
- ③ Rバー接近飛行 : 国際宇宙ステーションへの補給飛行に必要なRバー(地球方向からの)接近技術の実証。

更に、上記実験の終了後、昨年8月に発生したスラスタ異常が再発した場合でも、ソフトウェアの書き換え等の運用上の対策で、再ドッキングに向けた接近を可能とする運用技術の実証を目的に、ドッキング接近を実施した。

3. 異常発生時の対策

昨年8月、ETS-VIIのランデブ・ドッキング実験時に発生したZ並進系スラスタ未噴射異常が再発しても、ドッキング接近を継続可能とするための対策として、搭載ソフトウェアの書き換えによる次の対策を講じ、軌道上で有効性を確認した。

◎異常発生時の新スラスタ配分則の採用：

異常発生が予測されるZ並進スラスタの異常を検知し、姿勢異常に至る前に、あらかじめ搭載ソフトウェアの書き換えにより準備した新スラスタ配分則（噴射異常が予想されるZ並進スラスタ（#4、#6スラスタ）を用いず、キャント配置しているX並進及びヨー回転制御スラスタを利用してZ並進制御を行う方式；表-1参照）に切り替え、姿勢安定の回復とドッキング接近を継続する方式。

4. 実施結果

実験飛行の全体を図-1に、経過を表-2に示す。主なイベントは以下の通り。

(1) 分離、遠隔操縦、衝突回避マヌーバ

(分離第1可視；10月26日5時3分～5時47分/JST)

- ・5時13分；チェイサ、ターゲットを分離。
- ・5時30分；地上遠隔操縦に切り替え、2m点から約11m点まで離脱。
一旦停止した後、再度約6m点まで接近し、実験に成功（遠隔操縦の結果を図-2に示す）。
- ・5時41分；地上からの指令によりCAMを実施。正常離脱を確認。

(2) Rバー接近（分離第9～10可視；18時40分～21時05分）

- ・18時54分；約9.3km遠方より仮想ターゲット（ターゲット衛星から約700m地点）に向けて接近を開始。
- ・分離第10可視（20時21分～21時05分）において仮想ターゲットのランデブレーダ視野内投入を確認。
- ・20時31分より自動制御によりRバー接近を開始。IMU（慣性センサ）航法データにより735秒（目標550秒以上）Rバー接近飛行を実施。仮想ターゲット直下525m点から114m（慣性センサ出力に基づく値）まで上昇接近し、実験に成功。（Rバー接近の結果を図-3に示す）

(3) ドッキング接近（実験が終了したことから、ドッキング接近を実施）

- ・分離第12可視（10月27日1時25分～2時9分）；RP点（ターゲット前方約5.5km）に離脱、停止。
- ・分離第15可視（4時51分～5時35分）；再接近開始。
- ・分離第22可視（16時44分～17時28分）；ターゲット衛星より約230m地点に到達し、RVR（ランデブレーダ）による最終接近を開始。

- ・分離第23可視(18時27分～19時11分)中に、約36m付近でスラスタ噴射異常(#4スラスタ)の発生を姿勢データ及び推進系温度データ等から検知し、地上指令で新スラスタ配分則に切換え、Vバー接近継続に成功。(当初計画では異常の有無に係わらず32m点で切り替え予定であった)
- ・第24可視(20:08～20:52)；20時44分ドッキング。

5. まとめ

今回の実験の結果、遠隔操縦ランデブ、衝突回避マヌーバ、Rバー接近の3つの実験に成功することで、当初予定したETS-VIIにおけるRVD実験項目の全てを達成した(表-3)。

これに加え、スラスタ噴射異常発生時に新スラスタ配分則に切り換えることで、姿勢の安定化及びVバー接近の継続に成功し、最終的にドッキングした。このことは、修理不可能なハードウェア異常に対し、ソフトウェアの書き換えにより対応する可能性を示すものであり、貴重な技術データを取得することができた。

以上

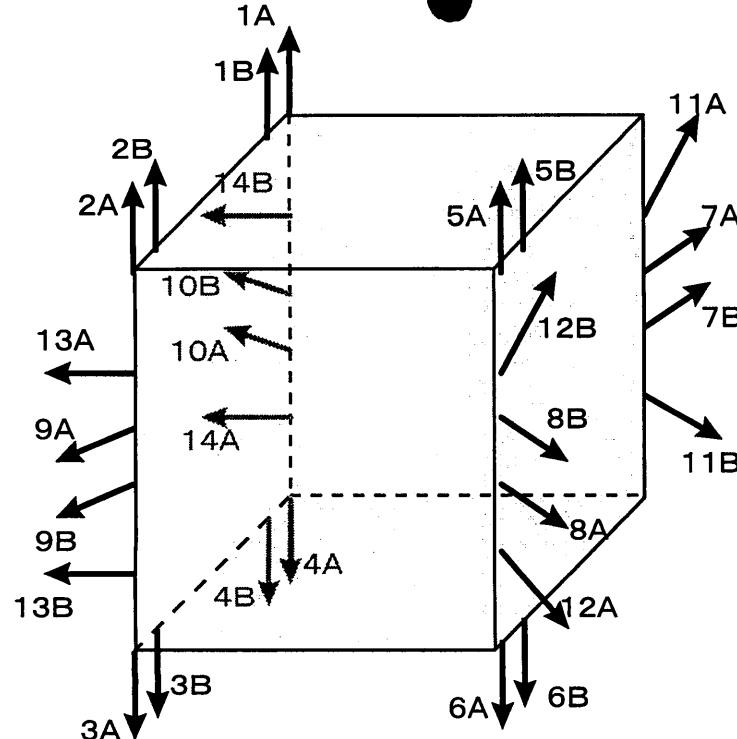
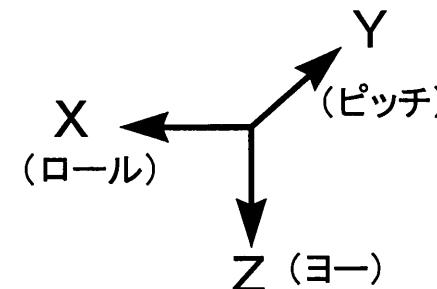


表-1 チェイサ衛星
20Nスラスタ配置図
及び新スラスタ配分則



項目	20Nスラスタ																																
	主系(A系統)														冗長系(B系統)																		
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	13B	14B					
軌道投入															D	D																	
姿勢制御	ロール	+	D		D												D	D											D	D			
		-	D		D												X	●	X	●								●	●	●	●		
	ピッチ	+		D		D											D		D														
ヨー	+		D			D										●	●					X				D	D	D	D	D			
	-		D			D																											
	ヨー	+			D		D																										
軌道制御	ΔV_x	+				D										D	D												D	D	D	D	
		-			D												D	D															
	ΔV_y	+					D	D																				D	D	D	D	D	
ΔV_z	+	D			D														D														
		-		D	D													●	X	●	X							●	●	●	●	●	

#4、#6 不使用時

●のスラスタの組合せで#4、#6の機能を代替

表-2 実験経過の概要(1999年10月26~27日)

可視 No.	時間(JST)	計画	実績
1	10/26 5:04~5:48	● ターゲット衛星分離／VP(2m)点停止 ● 遠隔操縦ランテープ ● 衝突回避マヌーバ(CAM)	● 同左 (遠隔操縦ランテープ、CAMの2つのミッションを達成)
2	6:47~7:31	● TI点(後方 9km)への退避状態モニタ	● 同左(相対距離約4.5km)
3	8:28~9:12	● TI点停止マヌーバ	● 同左(相対距離約8.9km)
4	10:09~14:17	● TI点付近保持	● 同左
5	11:52~12:34	● TI点付近保持	● 同左(相対距離9.3kmを目標とした軌道調整マヌーバコマンド送信)
6	13:33~14:15	● TI点付近保持	● 同左
7	15:15~15:59	● TI点付近保持	● 同左
8	16:58~17:42	● TI点付近保持(TI出発条件を満たした場合TI点出発)	● 同左 (GPSR A系の絶対航法に異常が発生したため、GPSR B系への切換を実施)
9	18:40~19:23	● TI点出発	● 同左
10	20:21~21:05	● 仮想RP点投入、接近、離脱	● 同左 (Vバー接近が成功し、この時点で今回の実験目的全てを達成)
11	22:03~22:48	● 待避点(RP点)への離脱状態モニタ	● RP点投入マヌーバコマンド送信
12	23:44 ~10/27 0:21	● RP点への離脱状態モニタ	● RP点到着(相対距離5.5km)
13	1:25~2:09	● RP点到着	● RP点付近保持
14	3:07~3:51	● RP点付近保持	● RP点付近保持
15	4:51~5:35	● RP点付近保持	● RP点出発マヌーバコマンド送信
16	6:35~7:17	● RP点付近保持	● TF点へ接近、
17	8:17~8:59	● RP点出発	● TF点へ接近(相対距離3.2km) ● 軌道調整マヌーバコマンド送信
18	9:58~10:40	● TF点へ接近	● TF点へ接近(相対距離1.6km)
19	11:48~12:21	● TF点へ接近	● TF点へ接近
20	13:20~14:02	● TF点へ接近	● TF点へ接近(相対距離270m) ● 軌道調整マヌーバコマンド送信
21	15:03~15:45	● TF点へ接近	● TF点投入マヌーバコマンド送信
22	16:44~17:28	● TF点(150m)投入マヌーバ	● TF点(230m)でRVR捕捉 ● Vバー接近開始～120m点停止 (捕捉位置が200mより遠方のため、V点到着を2可視後にすることに決定)
23	18:27~19:11	● TF点到達/RVR捕捉 ● Vバー接近開始～32m点停止	● 120m出発／32m点到着 (36m付近でスラスター噴射異常が発生したため新スラスター配置に切換えてVバー接近継続に成功した)
24	20:08~20:52	● 32m点出発／PP(30m)点到着 ● PP点出発／VP(2m)点到着 ● DM開、VP点出発／ドッキング	● 32m点出発／PP(30m)点到着 ● PP点出発／VP(2m)点到着 ● DM開、VP点出発／ドッキング
25	21:49~22:33	● AOCSモード移行	● GPSR A系運用
26	23:30~0:14	● 予備	● GPSR A系運用 ● AOCSモード移行

表-3 RVD実験の技術検証項目（検証実績と当初計画との比較）

サクセスレベル		ミッションサクセス			フルサクセス		
実験飛行（当初計画）		F P 1	F P 2	F P 3	F P 4	F P 5	F P 6
技術検証項目（新規性）		分離／ドッキング	初期離脱最終接近	総合RVD	オペミカルI	遠隔操縦オペミカルII	RV-接近
機器	a-1) ドッキング機構 W	①					
	a-2) 近傍セサ W	①					
	a-3) ランデブレダ W		②				
	a-4) GPS 受信機 W			◎*1			
	a-5) 加速度計			②			
	a-6) 視覚系機器		◎*2				
航法	b-1) PXS 航法 W	①					
	b-2) RVR 航法 W		②				
	b-3) GPS 相対航法 W (PNコード)			◎*3			
	b-4) GPS 絶対航法	①					
誘導制御	c-1) 分離 W	①					
	c-2) 基準軌道誘導		◎*8				
	c-3) C-W 誘導			◎*4			
	c-4) VIC 誘導			◎*4			
	c-5) 相対 6DOF 制御 W	①					
	c-6) ドッキング制御 W	①					
	c-7) LOS 指向制御		②				
	c-8) CAM 制御					⑥	
	c-9) 夜間ドッキング					②	
	c-10) 遠隔操縦制御 W					⑥	
運用管制	d-1) 自動状態監視 W		②	②			
	d-2) 自動異常管理 W				②	②	
	d-3) 実践的コントロール運用				◎*5	◎*5	
	d-4) 遠隔操縦運用 W					◎*7	
	d-5) 2衛星同時運用		◎*6	◎*6	◎*6	◎*6	
	d-6) テーマ中継衛星運用			◎*7	◎*7	◎*7	
FP	e-1) RV-投入						⑥
	e-2) RV-接近						⑥
6	e-3) GPS 相対航法 W (搬送波位相)						○

W : 世界に先駆けて開発した技術の軌道上実証項目。

① : FP-1により実証できた項目。

② : FP-2により実証できた項目。

⑥ : FP-6により実証できた項目。

○ : 実証できた項目。

◎ : 当初計画を越える実証ができた項目。

◎で当初計画を越える実証の内容は以下の通り。

*1 : ROM に焼いたアルマック（95年の軌道要素）での捕捉／計測

*2 : 1.5km でターゲット衛星を撮像

*3 : 150m～10km 超まで主航法セサとして実証

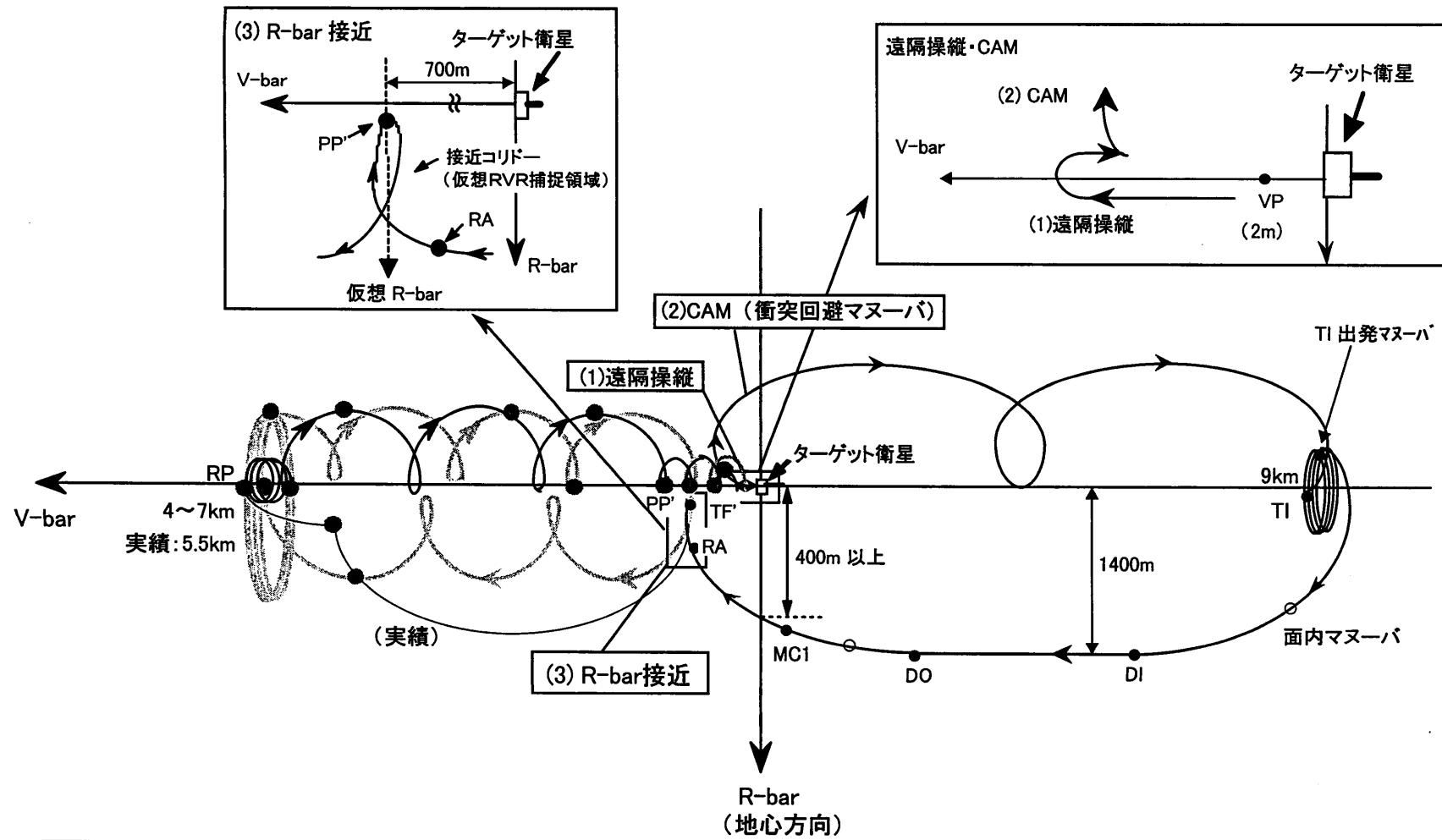
*4 : 150m へのTI 投入。高精度の軌道保持。

*5 : 想定外のコントローラーに対し、オボード機能の活用と、地上運用により対処。

*6 : コントローラー対処のためのアテナ切替（ストアード）運用。
2衛星軌道保持運用。

*7 : 時間遅れや等時性変動の大きい TDRS での遠隔操縦運用。
外国機関と協力しての運用。

*8 : ラスト噴射異常時に使用スラスターを切り換えるリコンフィギュレーションを行っての最終接近を実証。



分離 → VP 点停止 → 遠隔操縦 → CAM
 → TI 点保持 → 相対接近
 → RA 点 → R-bar 投入 → R-bar 接近 → CAM
 → ドリフト → RP 点保持 → ドリフト → TF'(150m) 点投入
 → RVR 捕捉 → V-bar 接近 → ドッキング

凡例
 ● ○ : マヌーバポイント

図-1 実験軌道全体

(b/L)

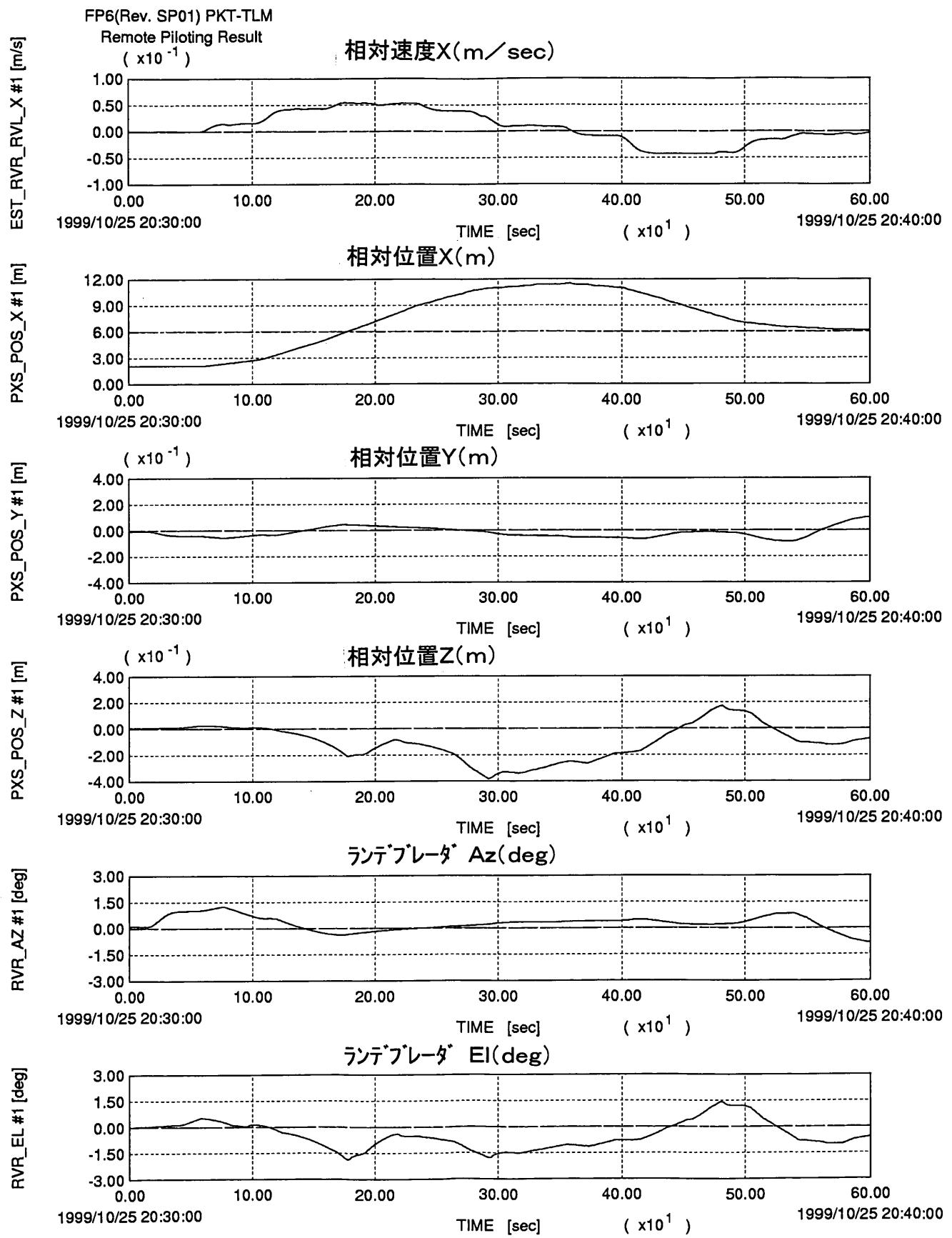


図-2 遠隔操縦ランデブ実験結果

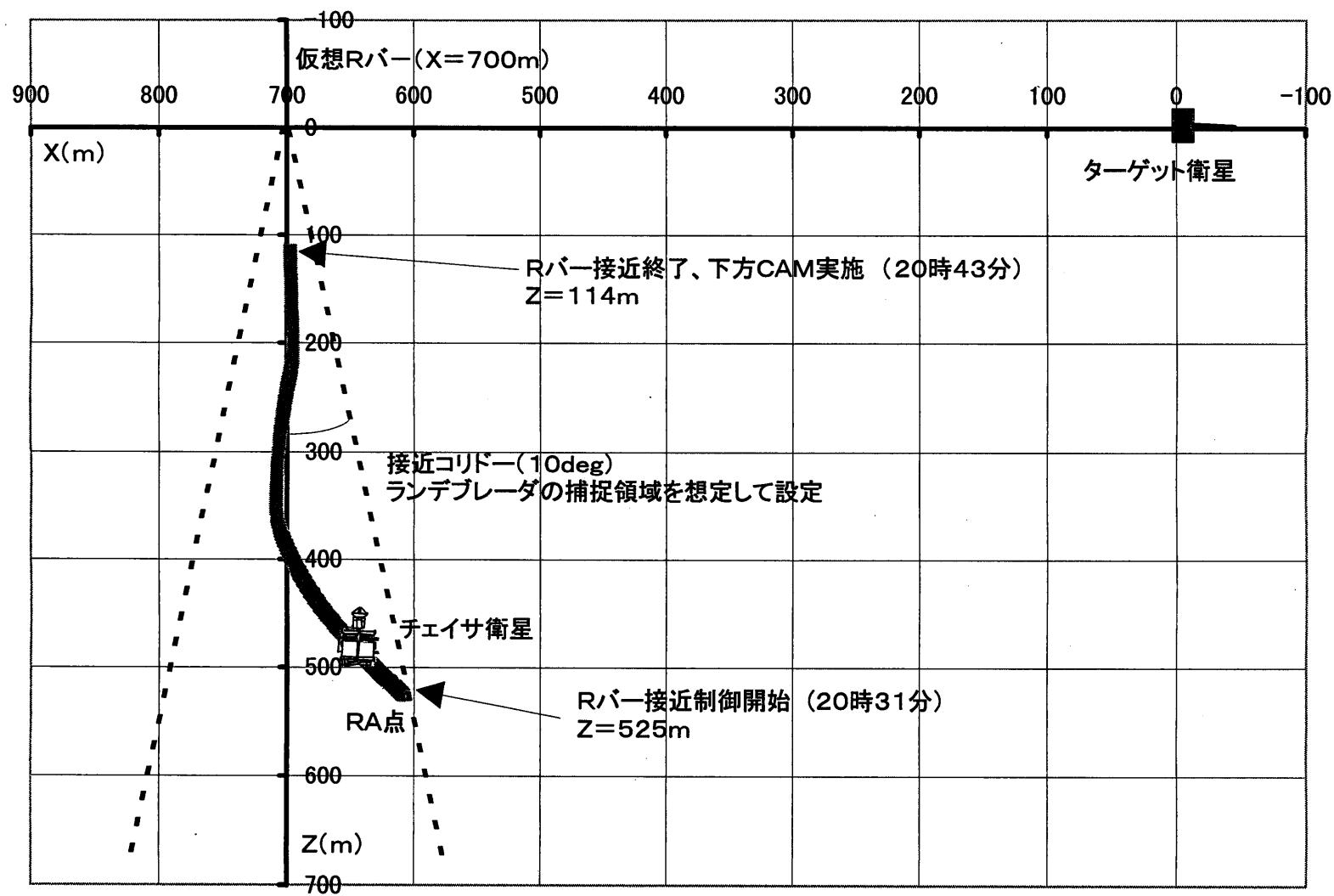


図-3 Rバー接近実験結果(慣性センサ出力に基づく値)