

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1230

実験用航空機ドルニエ機のGPS航法装置の 飛行評価実験

石川和敏・小野孝次・村田正秋
辻井利昭・峯野仁志・松本秀一

1994年3月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. はじめに	2
2. 略 語	3
3. 実験システム	3
3.1 仙台空港地上設備	3
3.2 DGPS構成	3
3.3 実験手順	5
4. 実験結果	5
4.1 実験全体概略	5
4.2 データ処理方法	5
4.3 飛行実験結果	7
4.3.1 実験結果概略	7
4.3.2 特異な実験ケース	7
5. GPS精度評価	76
5.1 GDOPによる影響	76
5.2 着陸進入時の測位精度	76
6. ま と め	78
7. あとがき	78
付録A NAVCORE I CPS受信装置データ	79
付録B 仙台飛行実験における飛行パターン	81
付録C 地上施設の配置および座標系	82
付録D GPS衛星の種類	84

実験用航空機ドルニエ機のGPS航法装置の 飛行評価実験*

石川 和 敏*¹ 小野 孝 次*¹ 村田 正 秋*²
辻井 利 昭*² 峯野 仁 志*³ 松本 秀 一*³

Flight Evaluation of GPS/DGPS Sensor Systems installed in NAL Do228 *

Kazutoshi ISHIKAWA*¹, Takatsugu ONO*¹, Masaaki MURATA*²,
Toshiaki TSUJII*², Hitoshi MINENO*³ and Shuichi MATSUMOTO*³

ABSTRACT

Navigation systems have been tested with a Dornier 228-200 (Do228), experimental research airplane of National Aerospace Laboratory (NAL) at Sendai airport, Japan. A C/A code single channel Global Positioning System (GPS) receiver (Rockwell/Collins Navcore I) was installed in the Do228. This receiver can operate in real-time differential GPS (DGPS) during differential corrections' coming from GPS base station operated at a known position. The base station will track up to four visible satellites and measure the error in pseudo-range to each tracked satellite, based on broadcast ephemeris data and known position. A laser tracker was used to determine a reference trajectory of the airplane. Navigation accuracy of the onboard receiver is evaluated by direct comparison between reference trajectories and sensor outputs.

Position accuracies of the GPS receiver are determined by pseudo-range errors between satellites and receiver. These ranging errors include common errors and receiver's specific residual errors. For all GPS receivers located within 200 kilometer of each other, common errors include satellite clock error, ephemeris error, refraction (ionospheric/tropospheric delay) and selective availability (SA) error.

This paper describes GPS/DGPS accuracies during approach and landing of the aircraft. All data in which GDOP is less than five are divided into three cases: (1) stand-alone navigation with SA, (2) differential navigation with SA and (3) stand alone navigation without SA tested on January 1991. Stand-alone accuracy is 75 meters and differential accuracy is 35 meters. Although stand-alone navigation accuracy under no SA is 20 meters, that is because the receiver's specific errors are more than common errors. The effectiveness of DGPS under SA was demonstrated flight experiments.

Key Words: Global Positioning System, Differential GPS, Navigation, Data Link, Flight testing

* 平成5年12月1日受付 (received 1 December, 1993)

*¹ 飛行実験部 (Flight Research Division)

*² 制御部 (Control Systems Division)

*³ 宇宙開発事業団 (National Space Development Agency of Japan)

概 要

航空宇宙技術研究所所有の実験用航空機ドルニエ機 Do 228 (Dornier 228-200) を使い、航法系機器精度評価を行うための飛行実験が1990年10月より仙台空港ターミナルエリア内で実施されている。船舶や自動車で既に使用され将来の航法装置の一つとして有望視されているGPS (Global Positioning System) 受信装置がDo 228 に搭載され、進入着陸を中心とした飛行評価実験が行われた。Do 228に搭載されたGPS受信装置はC/Aコード、1チャンネルの航空用GPS受信装置であるが、地上固定局で測位・評価した補正量を受信すると実時間のディファレンシャルGPS (DGPS) を行うことができる。DGPSは地上固定局と機上局の2つの受信装置の共通誤差を打ち消すことで、単独で測位するより精度の高い測位を行える。GPSの測位精度はGPS受信装置自体の精度ばかりでなく、GPS衛星の配置、衛星からの電波が通過する対流圏の状態、そして人工的に精度を劣化させるSA (選択利用性誤差: Selective Availability) の影響により大きく変化する。実際の進入着陸時に発生するこれらの誤差要因の影響下におけるGPS受信装置の精度評価を行うために仙台空港で飛行実験を実施しているが、本報告書では1990年10月～1991年12月までの4回 (合計21フライト) の実験を取り上げ、レーザ・トラッカーを基準としたGPS測位精度についてまとめた後、その評価について述べる。評価方法は、着陸進入時のGPS受信装置の出力位置を、SA環境下で(1)単独測位、(2)DGPS測位、および、(3)SA無しでの単独測位の3つのグループに分け、測位精度へのDGPSによる影響とSAによる影響を調べた。その結果、SA環境下ではDGPS測位を行うと測位精度は約40m改善され、またSAによる測位精度への影響は約55mであることが判明した。SA無しの状況での単独測位精度はSA環境下でのDGPS測位精度より良い結果が得られた。

1. はじめに

航空宇宙技術研究所では、1990年から仙台空港において当所所有の実験用航空機ドルニエ機 (Do 228)¹⁾をつかい、MLS (マイクロ波着陸システム) を含む航法系機器の飛行実験を行っている^{2)~5)}。本実験は以下の目的を持って行われている。

- Do 228機に搭載されている航法機器の精度確認。
- MLS/GPS等の新しい航法機器の性能評価。
- GPS-INS等の複合航法システム構築のための基礎データ収集。
- HOPE (H-II 打ち上げ型有翼回収機) の着陸航法系の基礎資料となる航法センサ機能の評価試験⁶⁾。

これらのうち本報告書で取り扱うGPS (全世界測位システム: Global Positioning System) センサに関しては予備解析を含め、一部ではあるが既に評価結果が発表されている^{7)~11)}。本報告書では1990年10月から1991年12月にかけて行った合計4回 (計21フライト) の仙台空港ターミナルエリア内におけるGPS/DGPSの飛行評価試験結果について述べる。

本報告書で取り上げたGPSは航空機の新しい航法/測位システムの一つとして注目されている¹²⁾。GPSシステムはGPS衛星と衛星を監視する地上施設で構成される。GPS衛星は、交点間隔60度おきに配置される周期約12時間の6つの円軌道に、それぞれ4個、合計で24個 (予備の3個を含む) が配置される。現在使用可能なGPS衛星の数は全部で24個あるが (1993年9月現在)、本実験開始時 (1990年10月) のGPS衛星の数はまだ少なく、3次元測位 (経度・

緯度・高度) を行うのに必要な4個の衛星も見えない時間帯が多くあった。また、実験当初のGPS衛星も現在主流のBlock II衛星だけではなく、初期の世代の実験運用用Block I衛星が多くあった。このBlock II衛星には人為的に精度を劣化させる選択利用性 (SA: Selective Availability) 誤差が米国国防総省により自由に入れられ、現在の運用において既にその人為的な精度の劣化が行われている¹³⁾。しかし、第2回の実験時 (1991年1月実施) では偶然にもSAが取り払われた状況であったので、C/AコードのGPS受信機がもつ本来の測位精度を計測することができた¹⁴⁾。

Do 228に搭載されているGPS受信装置は機上に搭載された受信装置だけを使って行う単独測位の他に、DGPS (ディファレンシャルGPS) を行うことが出来る^{15, 16)}。GPSの測位誤差の原因として電離層遅延、対流圏遅延、軌道歴誤差、SA誤差等がある。これらの誤差のうち電離圏並びに大気による電波伝搬遅延誤差とSAによる誤差に関してはターミナル・エリア内のすべてのGPS受信装置に対して共通と見なせるので、誤差を除去できるDGPS測位により高精度の測位が期待できる。すなわち、予め設置位置の分かっている地上局 (BS: Base Station) で捕捉GPS衛星の観測データ (擬似距離、デルタレンジ等) と衛星軌道データより幾何学的に求められる衛星との距離から観測データ誤差を計算する。この補正量を実時間で機上局に送信し、航空機に搭載されたGPS受信装置で捕捉したGPS衛星の観測量を補正することで、搭載GPS受信装置単独で測位した結果より高精度の測位計算が行えることになる。

飛行運動中のGPS受信装置を含め航法装置の測位精度を評価するためには、より高精度の移動体位置を測定できる

測位装置が必要となる。地上を移動している場合や静止点での計測の場合の航法装置の評価は比較的簡単に行えるが、航空機のように3次元的に運動を行う場合は基準とする装置の選択が難しい。これまでは、飛行中のGPS受信装置の航法精度を計測するのが困難であったために、地上静止点における評価しか行えなかった^{17,18)}。ところが、仙台空港における飛行実験ではDo228の飛行位置を計測する装置としてレーザ・トラッカー(LT)が使用出来、ターミナル・エリア内におけるDo228位置の連続的な高精度計測が可能となり、これを基準とした。

GPS/DGPSの測位設定はさまざまな条件の下で異なり、いろいろな評価方法が考えられるが、本報告書では、

- 飛行実験データのデータベース化
 - 実飛行実験におけるGPS測位精度評価を目的とし、
 - GDOP(幾何学的な衛星の配置による精度劣度)の影響
 - DGPS測位による影響
 - SAによる影響
- に注目して、着陸進入時におけるGPS受信装置の測位精度の評価を行った。

2. 略 語

AVG : 平均 (Average)
 AZ : 方位誘導装置 (Azimuth Subsystem), MLS方位角
 BS : DGPS用地上基準局 (Base Station)
 C/A : Clear and Acquisition または Coarse and Access
 CDU : 制御表示装置 (Control Display Unit)
 DGPS : ディファレンシャルGPS (Differential GPS)
 Do228 : 実験用航空機ドルニエ機 (Dornier 228-200)
 ECEF : 地球重心を原点とし自転軸をz軸に東経0度をx軸とした回転直交座標系 (Earth Centered Earth Fixed)
 FDAS : 飛行実験データ収録システム (Flight Data Acquisition System)
 GDOP : 幾何学的精度劣度 (Geometric Dilution of Precision)
 GPS : 全世界測位システム (Global Positioning System)
 HOPE : H-II 打ち上げ型有翼回収機 (H-II Orbiting Plane)
 ILS : 計器着陸装置 (Instrument Landing System)
 LT : レーザ・トラッカー装置 (Laser Tracker)
 MLS : マイクロ波着陸システム (Microwave Landing System)
 NAL : 航空宇宙技術研究所 (National Aerospace Laboratory)

PK : 駐機点 (parking Point)
 PR : 擬似距離 (Pseudo Range)
 PRcorr: 擬似距離補正量 (Pseudo Range Correction)
 RCS : 滑走路座標系 (Runway Coordinate System)
 RMS : 2乗平均の平方根 (Root Mean Square)
 SA : 選択利用性 (Selective Availability)
 SEP : 確率誤差球 (Spherical Error Probability)
 STD : 標準偏差 (Standard Deviation)
 TCG : 時刻信号発生器 (Time Code Generator)
 TH : 滑走路の端点 (Threshold)
 VHF : 超短波 (Very High Frequency)
 WGS : 世界測地系 (World Geodetic System)

3. 実験システム

3.1 仙台空港地上設備

本実験における仙台空港の地上配置を図1に示す。各地上設備の位置は精密測量により決定している。仙台空港には2本の滑走路があり、本実験ではMLSの地上設備が設置されているA滑走路を主に使用して着陸実験を行った。DGPS地上局(BS: Base station)及びレーザトラッカー(LT: Laser Tracker)はA滑走路脇に設置しており、Do228が進入や着陸するとき追尾しやすく視認に適した場所に配置されている。図中の駐機点(PK: Parking Point)はDo228が飛行実験の開始前及び終了後に駐機する場所を示している。1回の実験フライトはPKよりデータ記録を開始し、着陸後このPKに戻った時点で終了する。

3.2 DGPS構成

本実験で使用したDGPSは図2に示すような構成となっている。地上局はGPS受信装置部及びデータ・リンク部で構成されている。GPS受信装置に接続されているCDU(Control Display Unit)で位置などの表示や受信装置の制御を行うことができる。擬似距離補正量などの補正データはGPS受信装置の計算機内で推定され、データ・リンク部を通し機上局へと送られる。データ・リンク部はVHF無線装置を使用し、切り替えによりデータ転送と音声通信が行える。地上局から機上局へのデータ転送は圧縮された後パケット通信により行われ、送信データの信頼性を向上させている。このときのデータ転送レートは5から10秒間隔で行われる。また、機上局と地上局と同様にGPS受信装置及びデータ・リンク部で構成されるが、機上データ・リンク部のVHF無線装置は機体のものを流用してある。データ・リンク部のコントローラはパケットコントローラやGPS受信装置の制御を行う。

GPS受信装置から出力されるデータはRS232Cインターフェイスを通し記録装置へ送られる。データにはデータの種類の示す2バイトのラベルが先頭にあり、その後にはフォ

フォーマット化されラベル毎に定まった数のデータが続く。
BSと機上局の受信装置から出力されるデータは異なる種類のものが出力される。このGPS受信装置やBSで使用するデータの種類と内容については付録Aで説明する。

機上のGPSデータを記録する装置として、DGPS内部のデータ・リンク・マネージャーでの記録とは別に記録装置(FDAS, Flight Data Acquisition System)をもうけてある¹⁹⁾。特にこのFDASは地上のLTとの時刻同期を行うのに必要なタイム・コード・ジェネレータ(TCG)が接続され計算機のクロックタイムと同期が取られている。これらの

データはFDAS計算機本体のハードディスクに記録される。本報告書のGPS精度解析にはFDASで記録されたデータを使った。

先に述べたように、機上で記録したGPS受信装置の出力データと地上施設のLTの出力データを記録する装置にはそれぞれTCGが接続され、データとともにTCG基準時刻が記録されるようになっている。フライト後に行う解析では、このTCGの時刻を基に基準位置と航法機器の出力データとの比較を行っている。なお、TCG時刻の記録遅れについては無視して解析を行った。

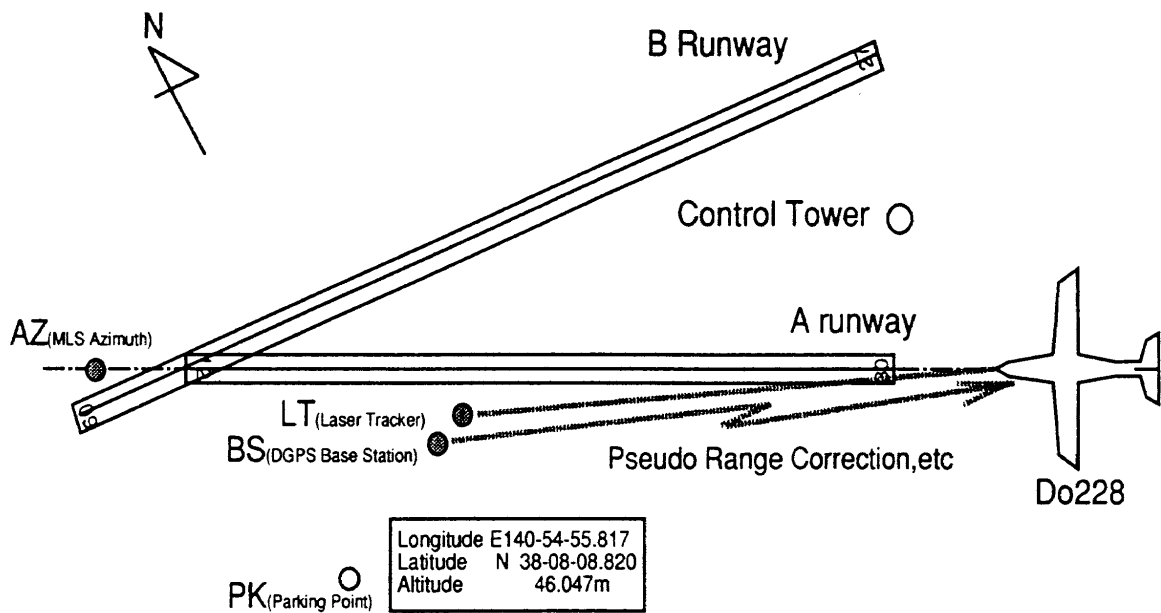


図1 仙台空港地上施設配置

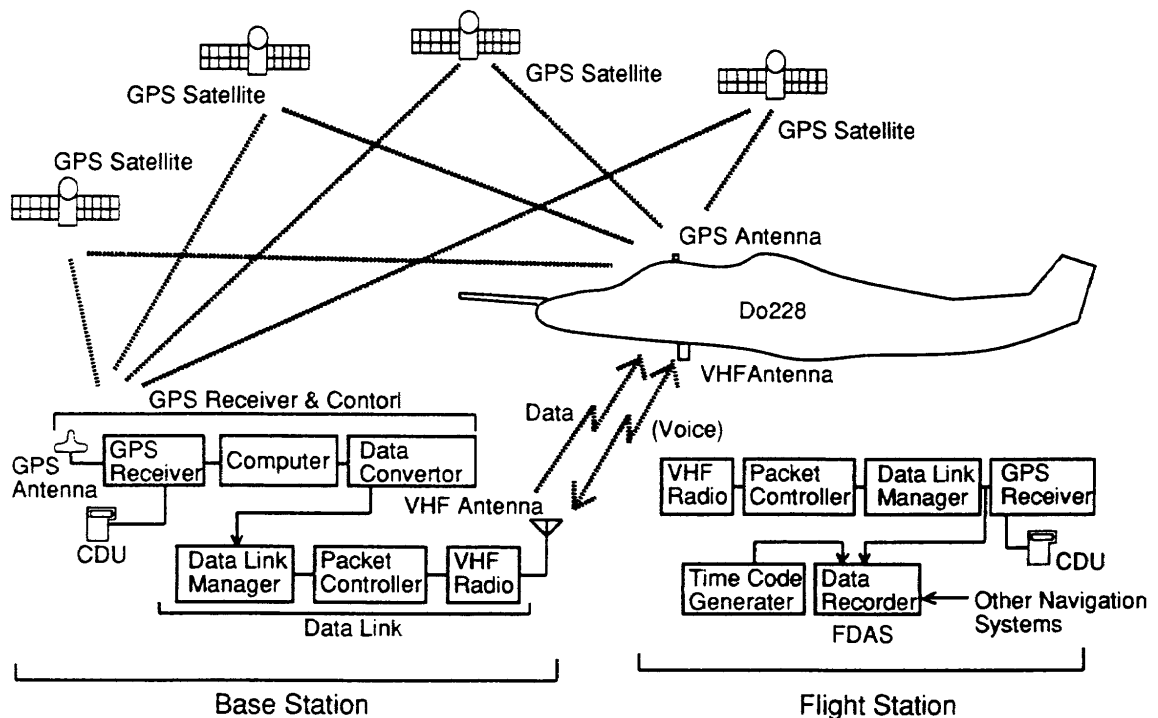


図2 DGPS実験ブロック図

表 1 Navcore I GPS受信装置のカタログ性能

	C/A Code,1ch.	
Stand-alone Accuracy	25.0m SEP	GDOP<5 no SA
DGPS Accuracy	10.0m SEP	

SEP:Spherical Error Probability

本実験において使用したGPS航法装置は、米国Rockwell International社製Collins NAVCORE-Iでありカタログ性能は表1のようになっている²⁰⁾。この装置は航法演算をWGS84座標系で行い、航法結果を1秒毎に出力する。本報告書ではこの受信装置の出力座標系に合わせてWGS84座標系の緯度・経度・高度で表記することにする。

3.3 実験手順

一つのフライトは数ケースにより構成される。実験は主に着陸フェーズを中心としたもので構成されているが、進入着陸以外にも水平飛行、仙台VORを中心としたサークル飛行などさまざまな飛行実験が行われた。(付録B参照)

DGPSを行うための地上局からの補正量の送信は各実験ケース毎に区切って行われた。LTがDo228を捕捉している状態の確認を交信するために、実験ケース間では音声通信を行う必要があるためである。機上のGPS受信装置は、BSからの有効な補正量データを受け取ることで自動的にDGPS測位モードとなる。このとき、BSから送られる補正量データに対応するGPS衛星は、機上局で捕捉しているGPS衛星の組み合わせと一致している必要がある。そこで、機上局ではBSから送信される補正量データと同じ組み合わせになるように機上局GPS受信装置のCDUで機上局捕捉衛星の組み合わせの変更を行っている。

4. 実験結果

4.1 実験全体概略

第1回から第4回までの実験で合計21フライトが行われた²¹⁾。実験期間中に行われた飛行番号は一部の例外を除き連続でつけられている。フライトはいくつかの実験ケースで構成され、各々のケースでは進入や水平飛行等の飛行実験が行われている。これらの実験の日程及びフライト番号及びケース番号と行われた飛行方法の対応を表2に示す。

表2の飛行方法中に示されている番号は周回飛行(Orbit)、水平飛行(Level)、着陸進入飛行(Approach)、そのほか(Special)を意味するアルファベットと数字で構成され、飛行実験の種類を区別し易いものとなっている。また

実験番号及び飛行番号は実施日付順に並んでおり、各々の飛行で行われた飛行方法に対応する実験ケース番号が書き込まれている。実験ケース番号は通常はC1等で示されるが、特殊な実験飛行でケース番号を一つしかつけなかった場合はLTデータファイルに従い、ケース番号の他に実験順にアルファベットをつけ区別している。

GPS/DGPSデータを評価するには、いくつかの条件を整えなくてはならない。まず、Do228の基準位置となる有効なLTデータが存在することが必要である。このLTは光の反射を利用して測位を行う。そのため曇天や雨天時などの視認性が落ちる場合には航空機の追尾が困難となりデータ欠落が多く発生し、LTは基準位置測定装置として使用することができない。また、建物や鳥などの障害物によっても同様にデータの欠落が発生する。GPS受信装置は時間帯によって捕捉可能な衛星の数が足りない(3次元測位を行うためには最低4衛星必要)ことや衛星の配置によって測位不可能なことがある。従って、本報告書で取りあげるデータはLTとGPSデータの両方が存在し比較可能なケースについてのみに限定した。表2で取消線のついている実験ケースは、上記の理由からGPS測位結果の評価が不可能だったことを示している。

4.2 データ処理方法

Do228の飛行基準位置としたLTデータは60Hzで記録される。オフラインでこの出力データにカットオフ周波数2Hzの4次スムージングを行い6Hzに間引いたデータを使って、GPS出力位置と比較し解析を行っている⁵⁾。LT出力データにはスムージングが施されているが、これにより位相遅れはすべての周波数領域において発生しない。GPSデータと比較する際のLTデータの補間には単純に一次式を採用した。

GPS測位結果を評価するために、LT出力データをGPSで採用しているWGS84座標系に変換する必要がある。その変換の基準データとなる地上施設位置は測量用GPS受信機とレーザ・セオドライトを使って精密に計測している。地上施設の配置、座標系、座標系間の変換については付録Cで説明する。

GPSの測位点は厳密にはGPSアンテナの位相中心であり、LTの測位点はLT反射鏡の中心部となる(図3)。したがって、データ処理を行うにあたってはこの差を考慮にいれて解析する必要がある。しかし、Do228に取り付けられているLT反射鏡は複数個あり、全体として反射角度が大きくなるように前向きに1つ左右に一つづつの合計3個が取り付けられている。航空機の姿勢と位置が変化するとレーザを反射する鏡は変化するため、飛行実験中にLTがどの反射鏡を使用して航空機の位置を測定したのかは不明である。また、LT反射鏡とGPSアンテナの補正を行うには、

表 2 GPS 飛行実験ケース一覧

飛行方法	実験番号	第 1 回実験(1990.10)						第 2 回実験(1991.1)						第 3 回実験(91.9)						第 4 回実験(1991.12)					
		FX1 9am	F01 11am	F02 11pm	F03 12am	F04 12pm	F05 13am	FX2 22pm	F06 23am	F07 23pm	F08 24am	F09 24pm	F10 25am	F11 10pm	F12 12am	F13 12pm	F14 3pm	F15 4am	F16 4pm	F17 5am	F18 5pm	F19 6am			
周回飛行	O-1 2500ft 3NM											C1B							ABC						
	O-2 2500ft 5NM																								
	O-3 6000ft 4NM																								
水平飛行	L-1 1900ft 160kt								C4 C3				C3												
	L-2 1500ft 160kt		C2 C3																						
	L-3 1000ft 190kt												C4												
	L-4 400ft 100kt		C5				C7								C3		C3	C3							
	L-5 400ft 160kt		C4														C4	C4							
	L-6 400ft 190kt														C4			C4							
	SL-1 A Z 変化(A:R/直交)																								
	SL-2 A Z 変化(B:R/直交)												C5												
	SL-3 A Z 変化(B:R/直交)																								
	A-1 3° 直線着陸進入		C6						C5 C6																
着陸進入飛行	A-2 4° 直線着陸進入										C3														
	A-3 6° 直線着陸進入				C3.4	C5	C4				C4														
	SA-1 上下/左右7・3・3進入				C2		C5				C5		C6												
	SA-2 速度変化進入					C4	C6																		
	SA-3 2段階着陸進入																								
	SA-4 360° 旋回着陸進入																								
	SA-5 71°・11°・73° 着陸進入						C8																		
	SA-6 1 L S 着陸進入							C6			C6														
	S-1 地上静止																								
	S-2 離陸																								
他	S-3 その他											C1A													

C: ケース番号、F7, F9, F11, F16, F18, F19はケース番号は一つなので、LTデ-のファイルに従って7NMハ-ットでケースを分けることにする。

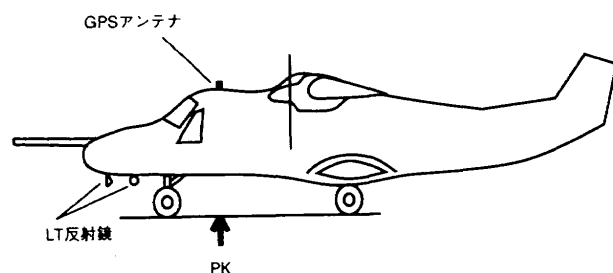


図3 アンテナと反射板と取付位置

Do 228の姿勢が分からないと厳密な解析はできないため、本報告書ではこの誤差を考慮にいれて解析していない。なお、アンテナ位置による差は距離で約5mとなる。

4.3 飛行実験結果

4.3.1 実験結果概略

図4.1～図4.67に実験結果を示す。各図の(1-a), (1-b)にはGPS受信装置からの出力位置とLT出力位置を両方表示している。これらの図はWG 84座標系での緯度・経度・高度で表示している。LT出力位置は太い線で、GPS出力位置は細い線で表示している。(1-a)は水平平面での位置を表示し、(1-b)は上から順番に経度、緯度、高度、Mode (GPS受信装置の測位計算状態)、GDOPを示している。経度及び緯度は度分で示し、高度はm単位で示した。Modeの数字は、1が3次元単独測位(3S)、2が2次元単独測位(2S)、3が3次元ディファレンシャル測位(3D)、4が2次元ディファレンシャル測位(2D)をそれぞれ意味している。本実験ではGPS衛星の配置の許す限り3Sまたは3Dを行っている。このModeの線が途切れている部分はGPS出力がない場合か正常なGPS測位が行われていない場合を示す。特にModeの線が途切れていてGPS出力(緯度・経度・高度)が途切れていない場合は正常なGPS測位が行われていない場合を示している。本実験で使用したGPS受信装置は1チャンネル受信装置であり、3次元測位に必要な4衛星をトラッキングするには1秒間に4衛星を逐次切り替える必要がある。しかし、新たなGPS衛星を捕捉する場合はその衛星を連続して捕捉し衛星からのメッセージ²²⁾を解読する必要があるため、4衛星の逐次切り替えが行えず通常の測位計算ができなくなる。受信装置はその場合受信装置が直線移動したものと計算を続け位置を出力する。そのため、このとき航空機が大きな運動を行った場合は大きな誤差が発生する⁴⁾。また、GDOPは4つのGPS衛星配置の状態を示し、GDOPが小さい数字の方が測位精度がよい。本実験で使用したGPS受信装置はGDOPが設定した値を越えた場合は測位演算を行わないようになっている。

各図の(2-a), (2-b)はGPS受信装置出力からLTによる基準位置を引いた差を示している。経度及び緯度誤差は高度誤差と比較し易いように高度と同じ単位である距離(m)

に変換して表示している。ちなみに、仙台空港PKで(北緯38度8分8.820秒, 東経140度54分55.817秒, 高度46.047m)での経度1秒は24.35m, 緯度1秒は30.83mに相当する。

表3に図4.1～4.67に対応する測位誤差のデータ表を示す。表は対応する図番号, データ数, 開始時刻(TCG時刻とGPS時刻), Modeに対応するデータ数量, GDOP(最小値, 平均, 最大値), 緯度(LONGITUDE)・経度(LATITUDE)・水平誤差(HORIZON)・高度(ALTITUDE)・距離(LENGTH)の平均(AVG, Average)・標準偏差(STD, Standard Deviation)・測位誤差(RMS, Root Mean Square)をm単位で示した。開始時刻は図4.1～4.67の0秒におけるTCG時刻とGPS時刻を意味する。TCG時刻は午前零時を基準とした1日単位の秒数で示し、GPS時刻は日曜日の午前零時を基準とした1週間単位で一巡する秒数で示したものである。また、表中で示した緯度・経度・水平誤差・高度・距離の関係は、

$$\text{HORIZON} = (\text{LONGITUDE}^2 + \text{LATITUDE}^2)^{1/2}$$

$$\text{LENGTH} = (\text{HORIZON}^2 + \text{ALTITUDE}^2)^{1/2}$$

である。

これら図4.1～4.67及び表3は1991年度及び1992年度に仙台空港で行ったGPS/DGPS飛行実験をすべて網羅している。

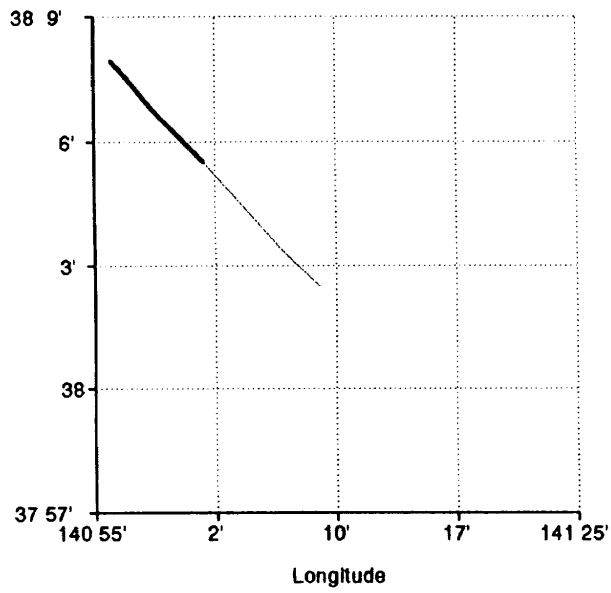
4.3.2 特異な実験ケース

第1回から第4回までの実験結果のなかで特に注目される飛行実験について述べる。

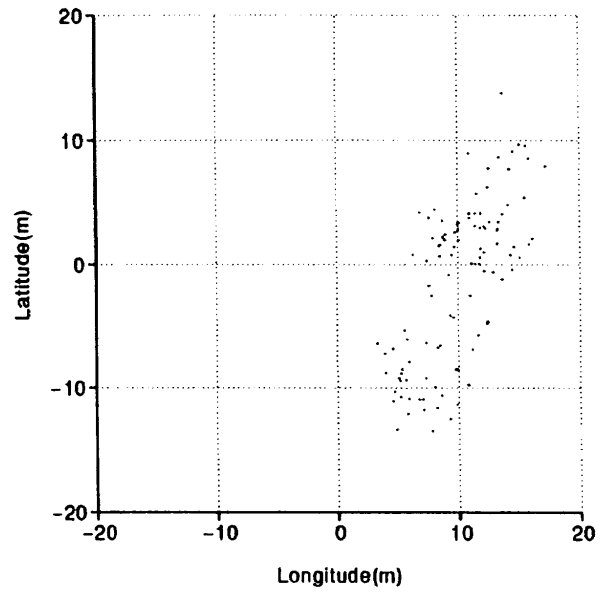
F03C03(図4.7)は、高度1,000mの水平飛行より経路角が-6度で滑走路に進入した後、高度500mで再び水平飛行を行うケースである。高度500mで水平飛行に移る時にちょうどノーマル・トラッキング(1秒間に4衛星を順次切り替えて正常に測位計算する状態)からはずれて(Modeの線が切れている部分), LTとGPSの位置が大きくずれている(図4.7(1B))。4.3.1項で述べたように、これは航空機が大きな運動の変化をおこなったのにも関わらず、GPS受信機は等速直線運動を行っているものとして測位計算を行ったのが原因である。受信機の状態がノーマル・トラッキングに戻ったあとも測位誤差はすぐに小さくなってない。

本実験で使用したGPS受信装置は1チャンネル受信機であるために、GPS衛星のメッセージを受信したり、GPS衛星を切り替えるために新たな衛星を捕捉している場合はノーマル・トラッキングを行うことができずに、測位精度は劣化する。衛星の切り替えが終了するまでに、1回6秒間の切れ目が数度発生する。このような受信チャンネルが1つであるために発生する問題点をなくすには、チャンネル数を増やすほかに、他の航法装置と合わせて複合航法系を構築することが考えられる^{23～25)}。

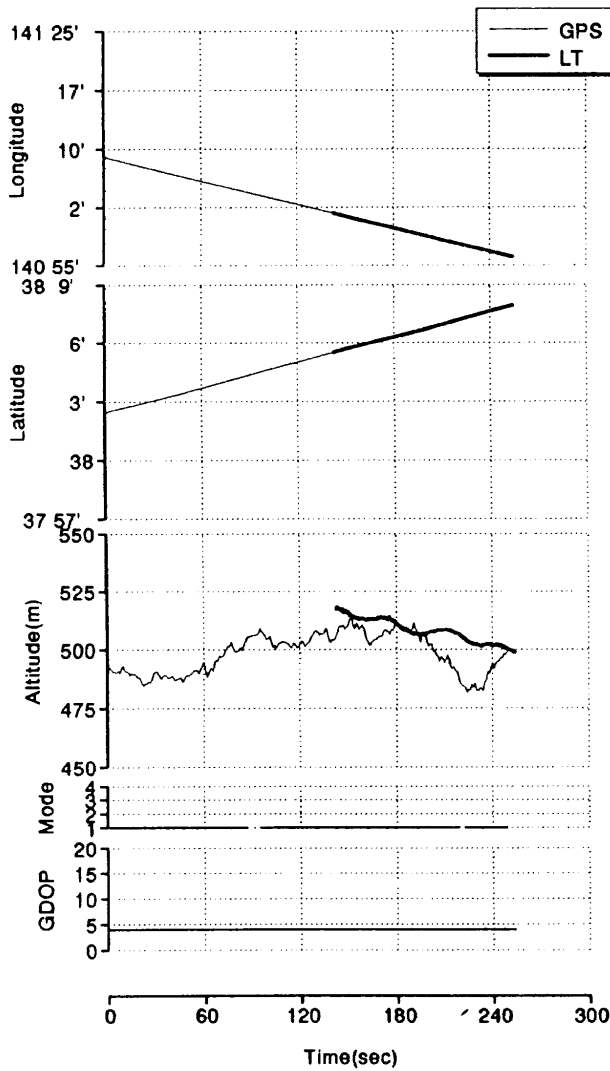
次に、測位誤差の大きいF09C01A(図4.29)について述



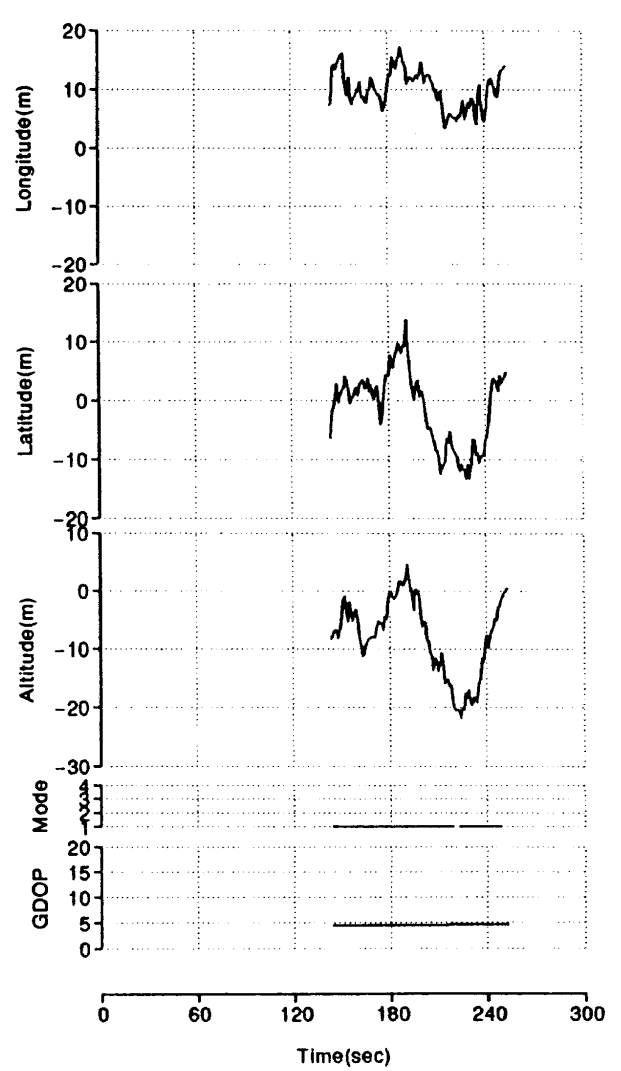
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

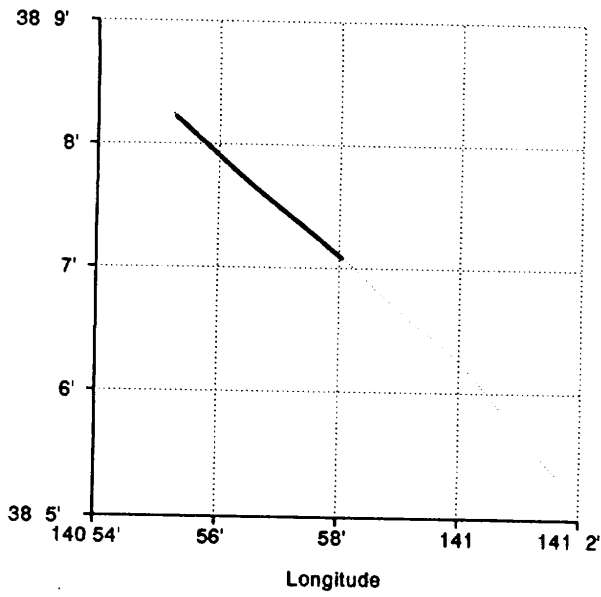


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

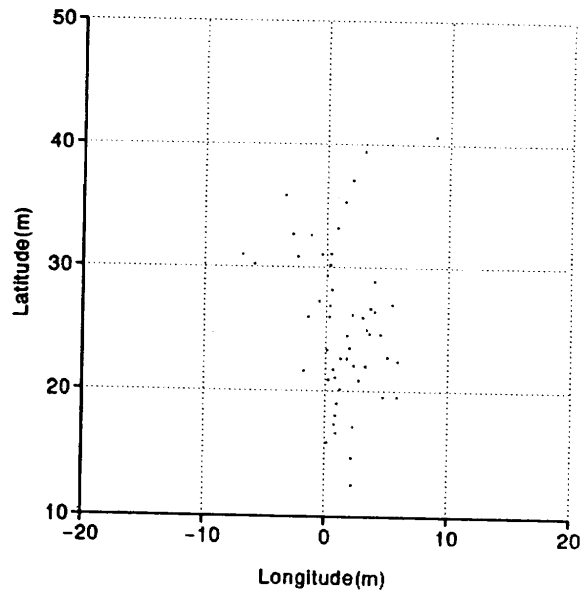


(2-b) Diff. TIME HISTORY

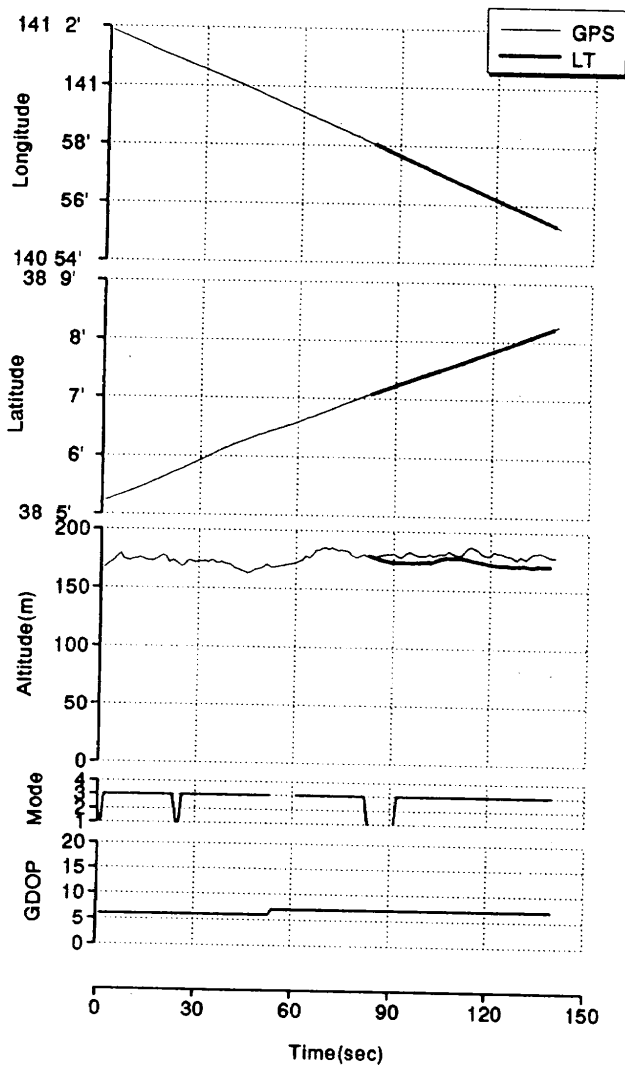
図 4.1 F01C02(L-2) 実験結果



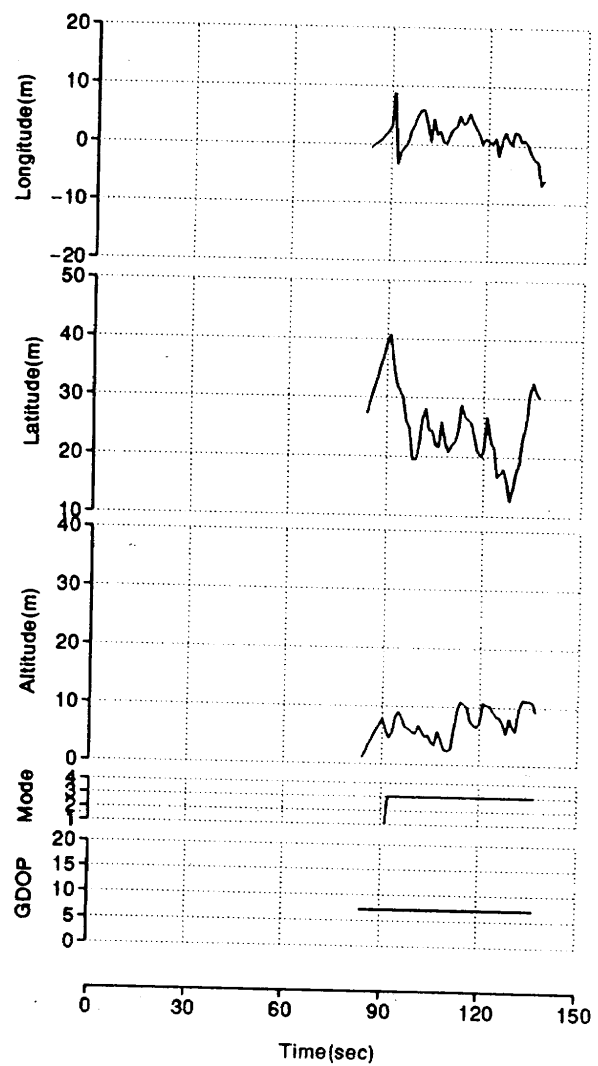
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

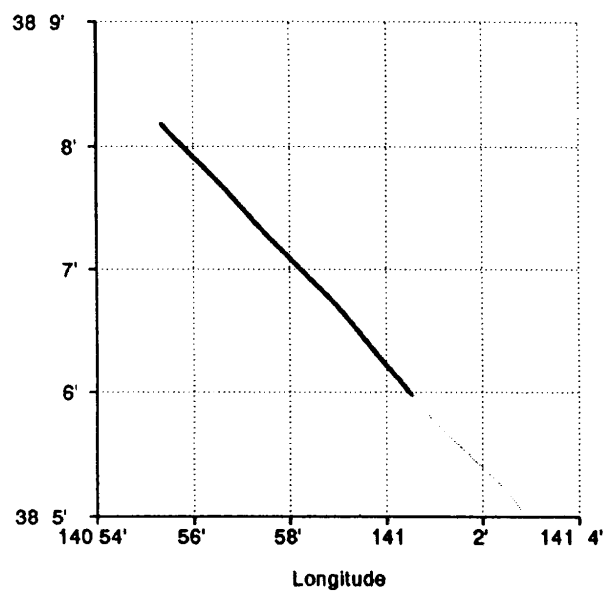


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

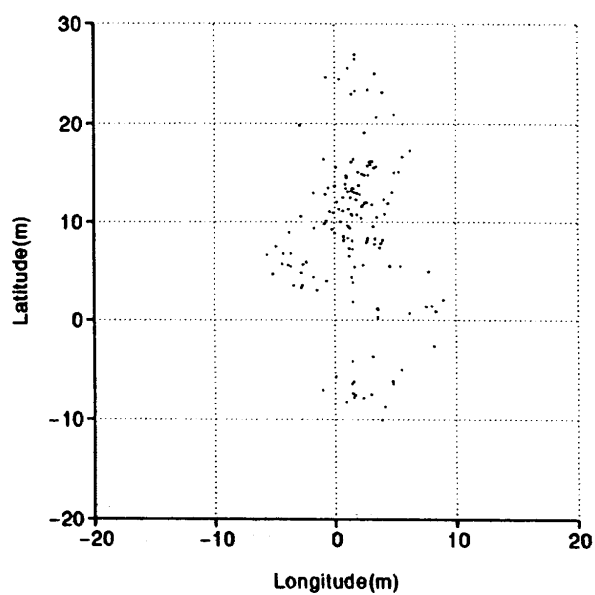


(2-b) Diff. TIME HISTORY

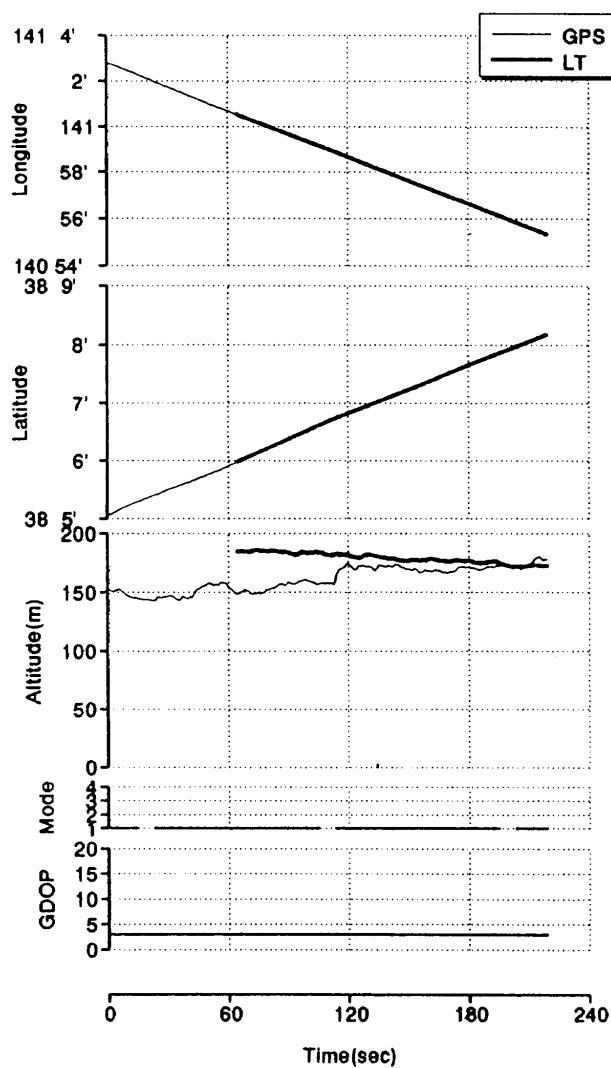
図 4.2 F01C04 (L-5) 実験結果



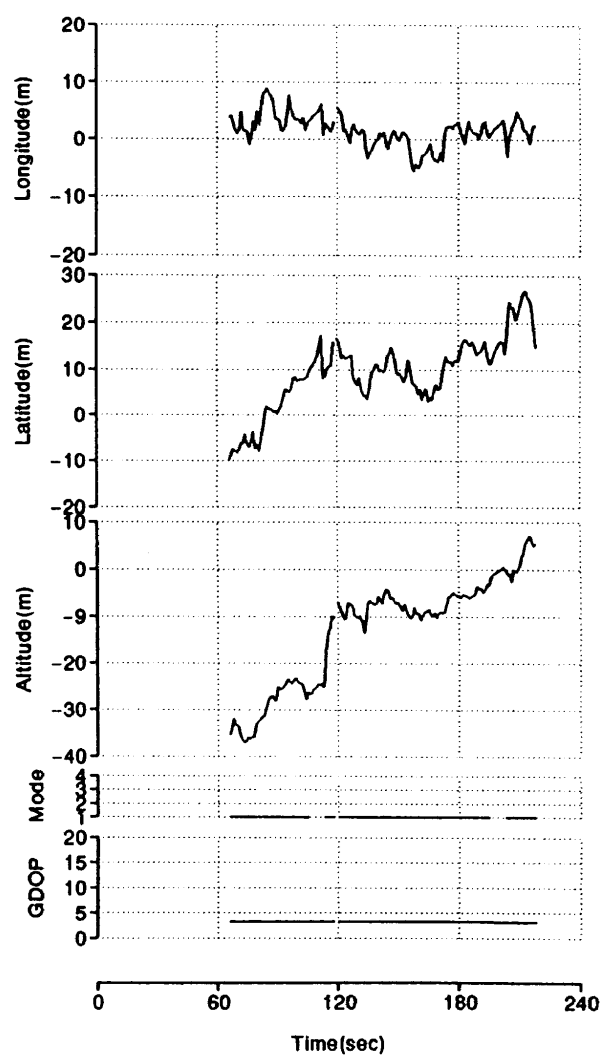
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

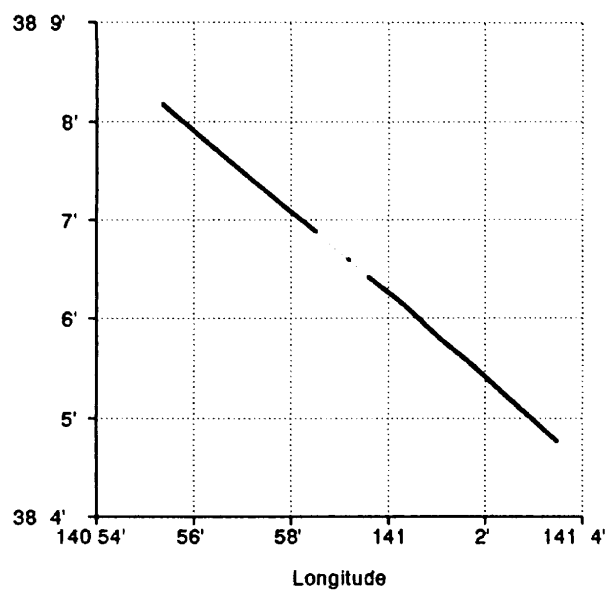


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

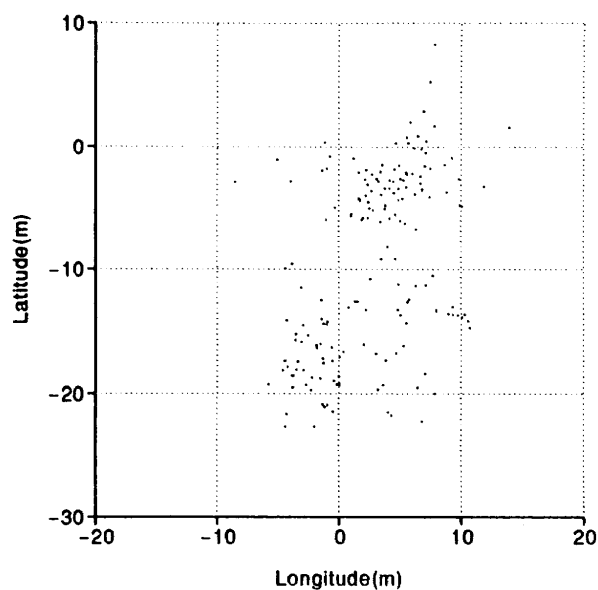


(2-b) Diff. TIME HISTORY

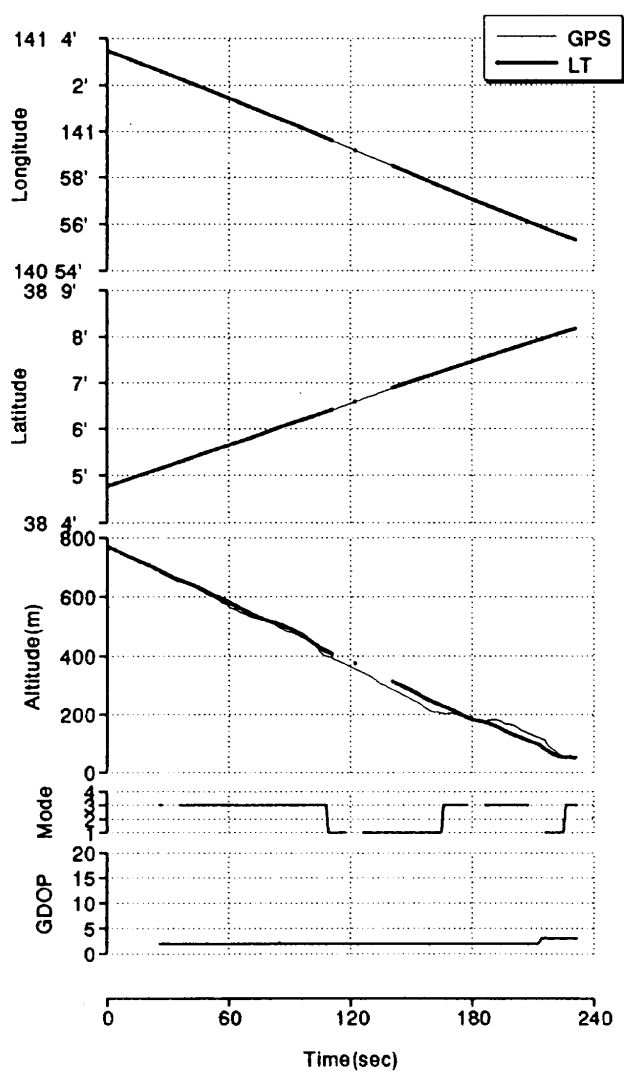
図 4.3 F01C05(L-4) 実験結果



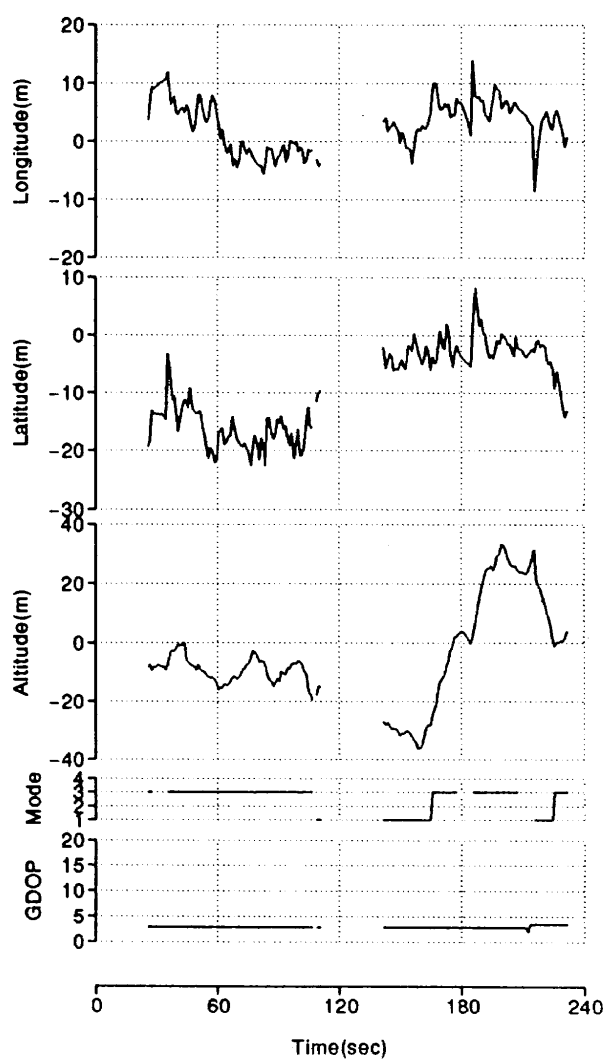
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

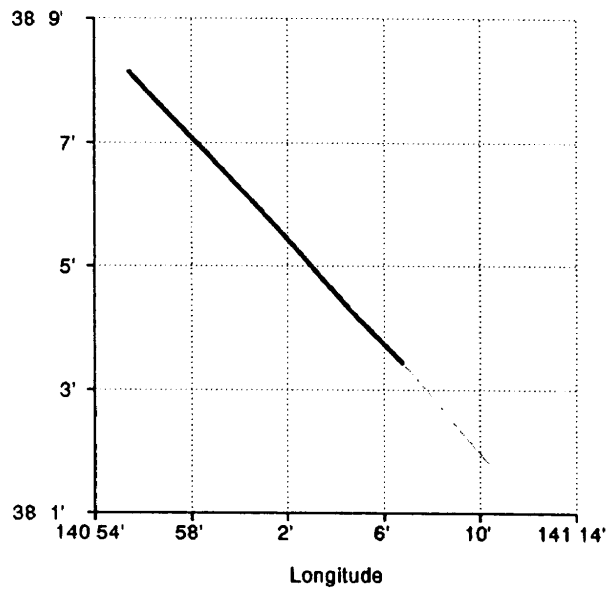


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

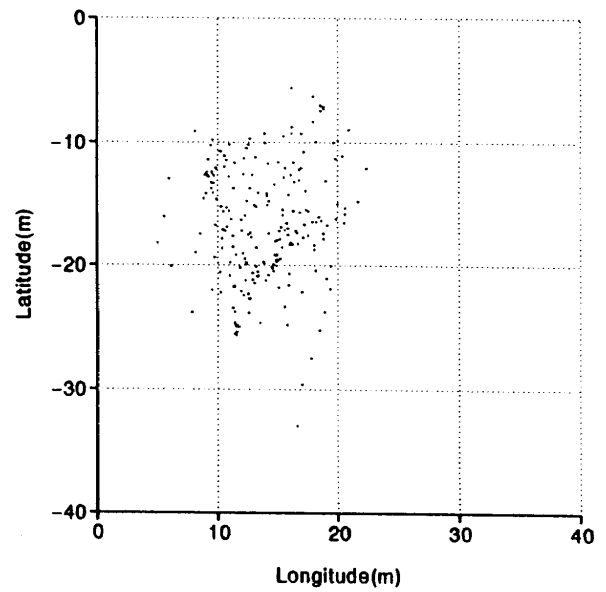


(2-b) Diff. TIME HISTORY

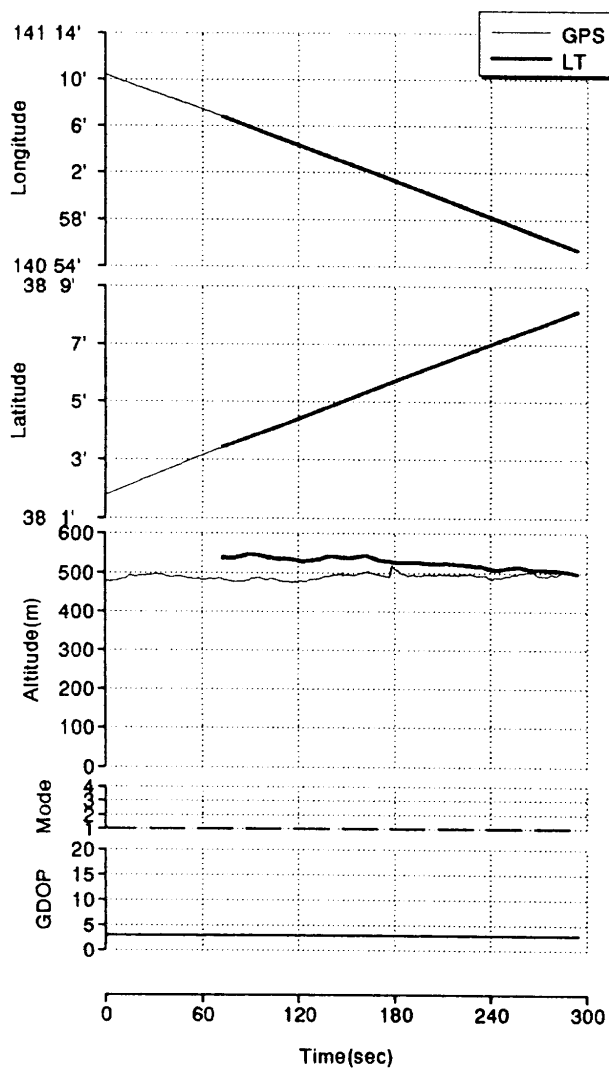
図 4.4 F01C06(A-1) 実験結果



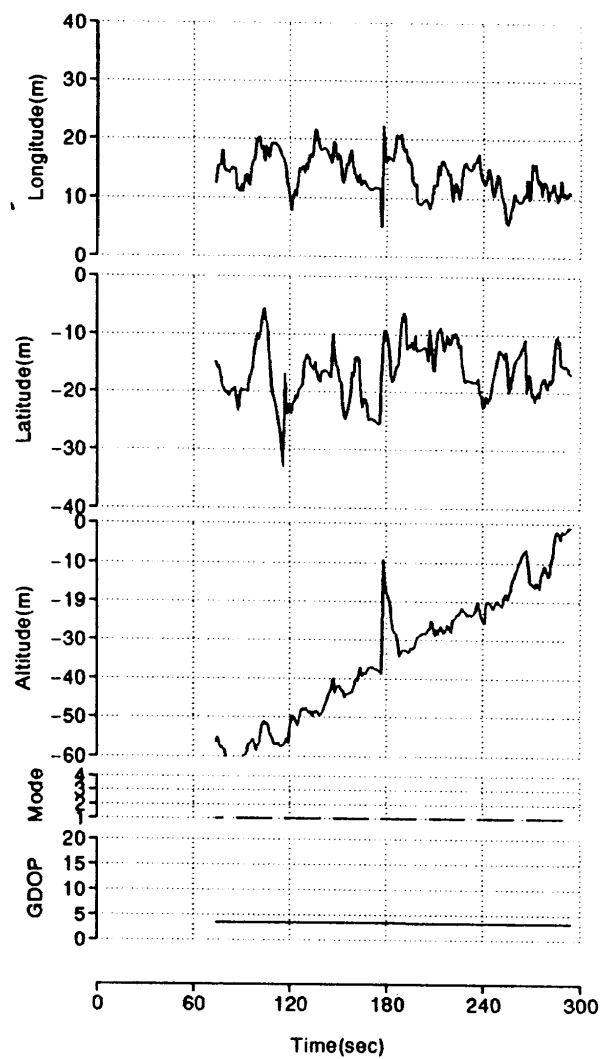
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

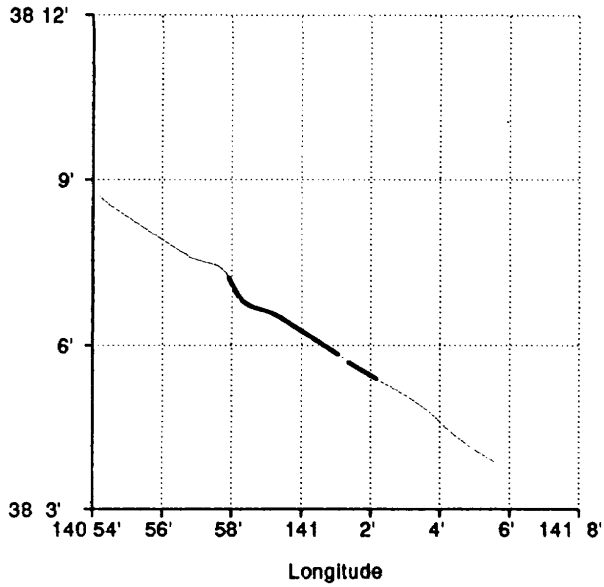


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

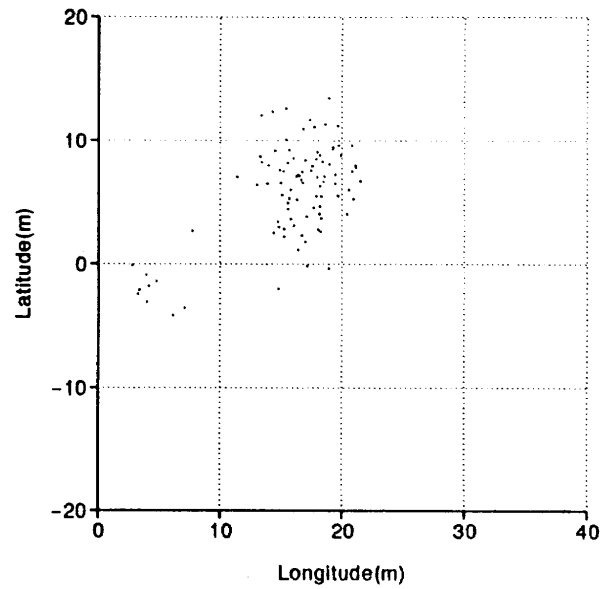


(2-b) Diff. TIME HISTORY

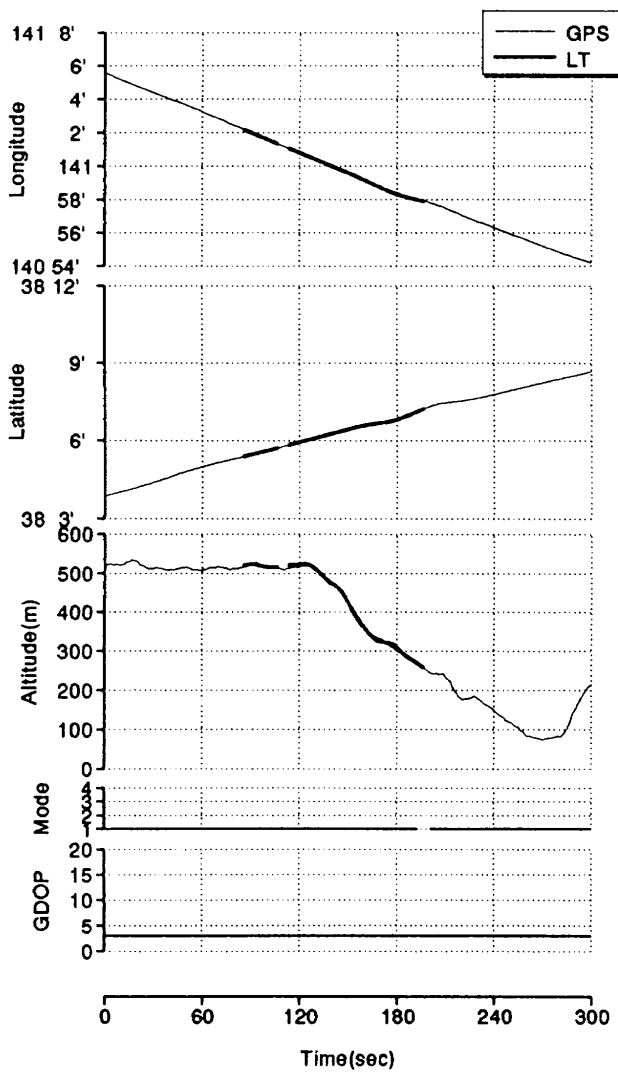
図 4.5 F02C03(L-2) 実験結果



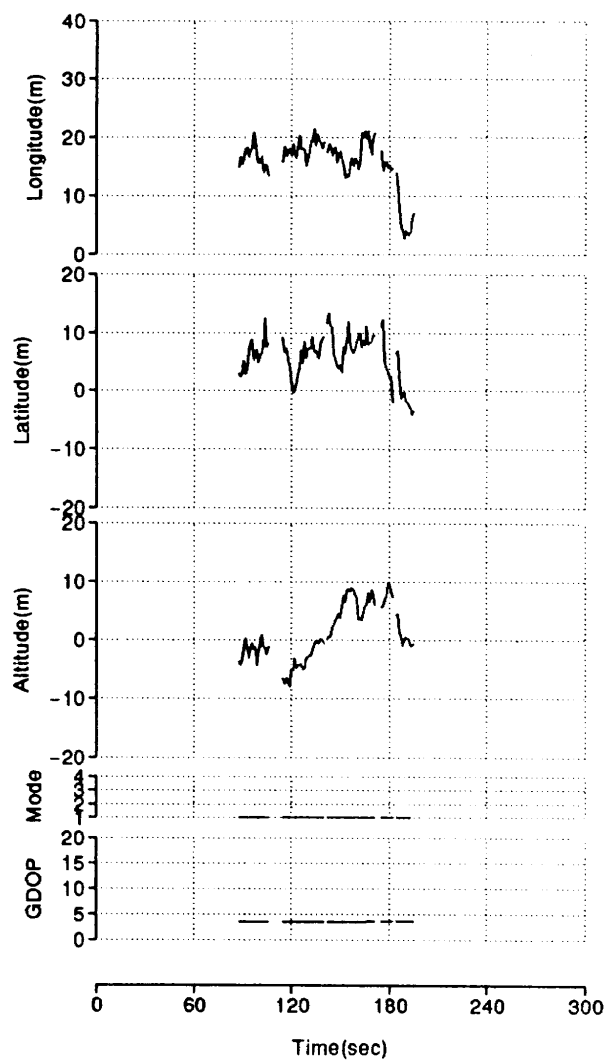
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

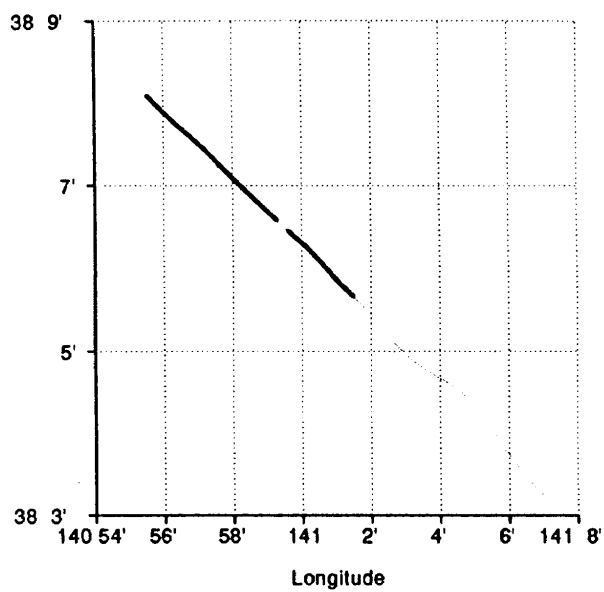


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

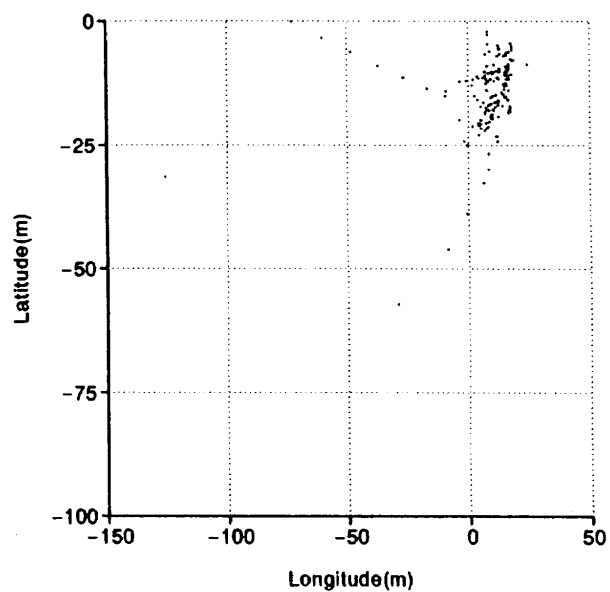


(2-b) Diff. TIME HISTORY

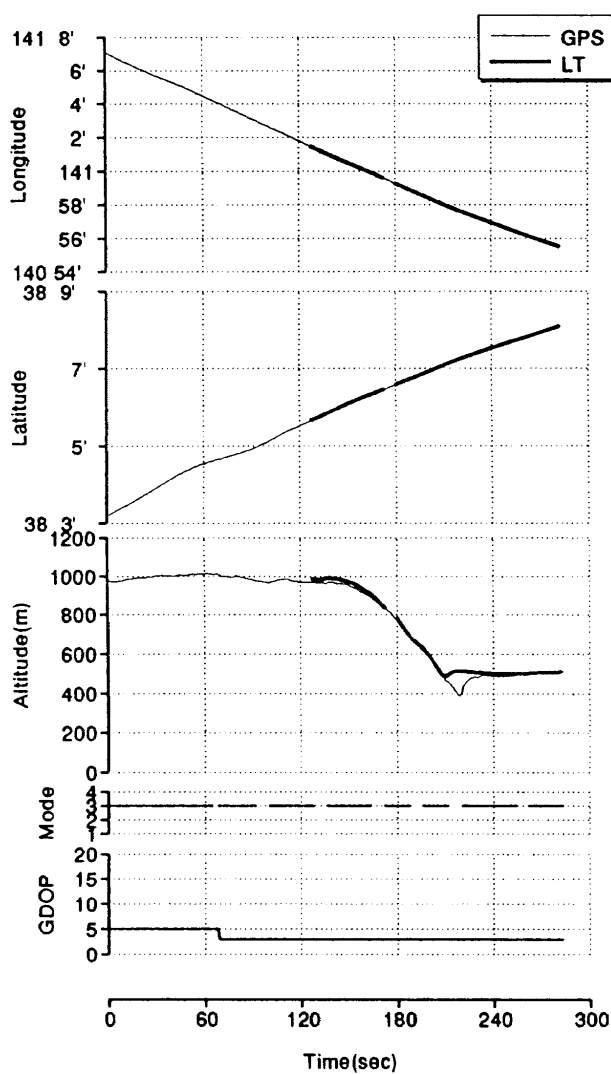
図 4. 6 F03C02(SA-1) 実験結果



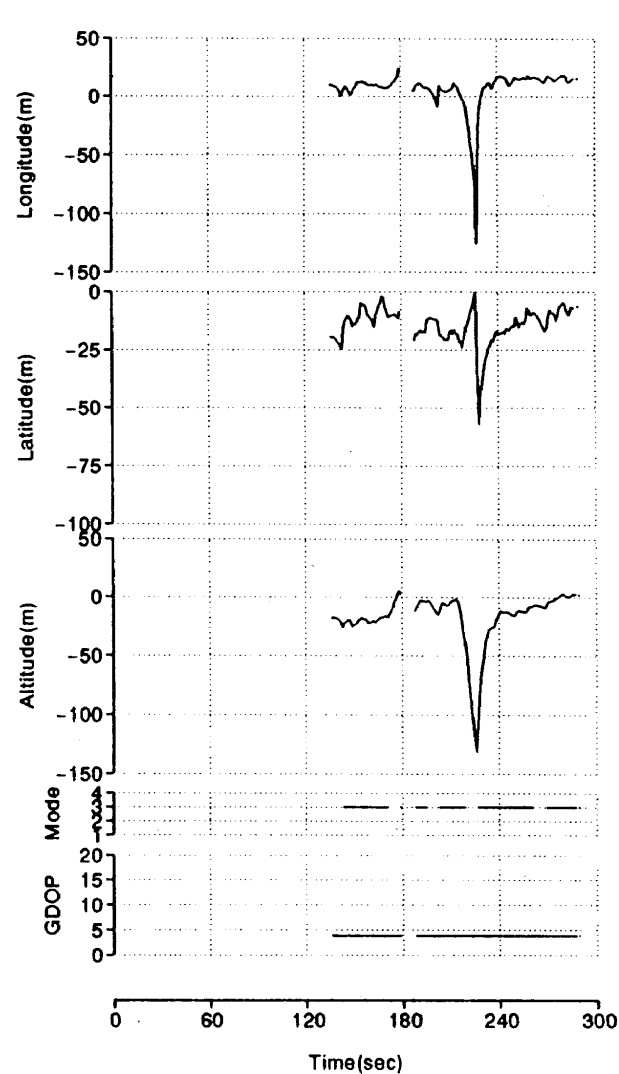
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

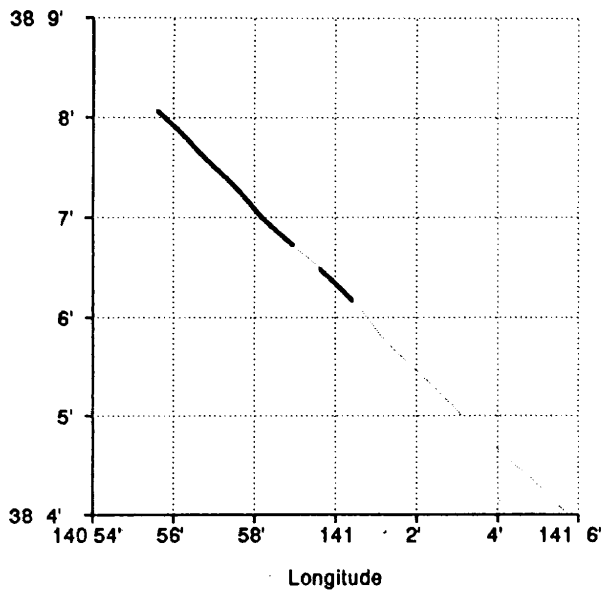


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

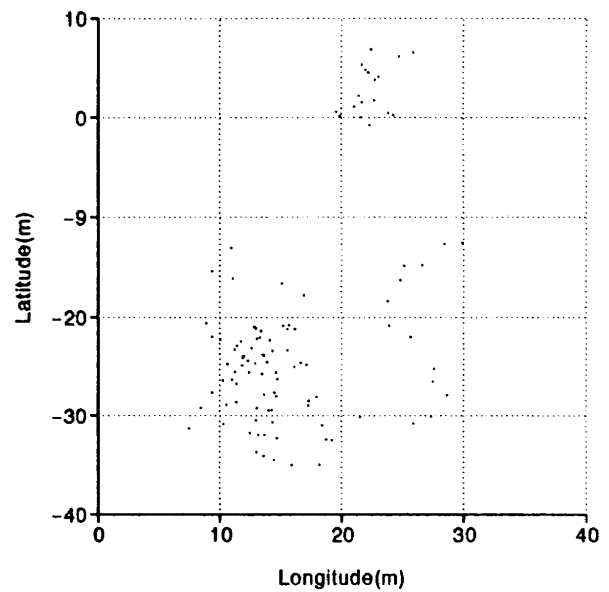


(2-b) Diff. TIME HISTORY

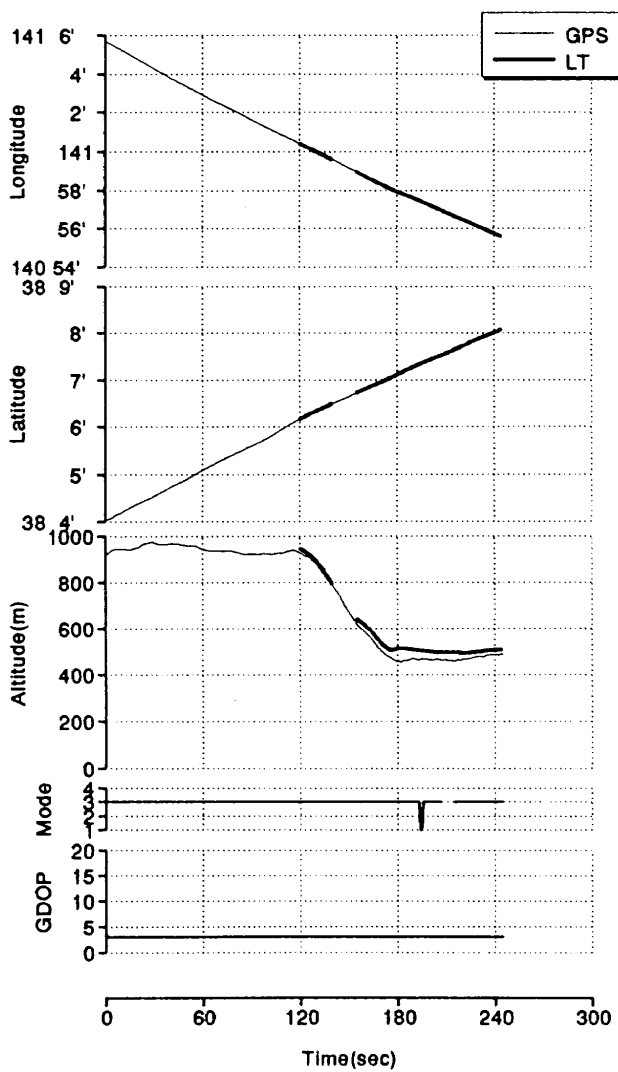
図 4.7 F03C03(A-3) 実験結果



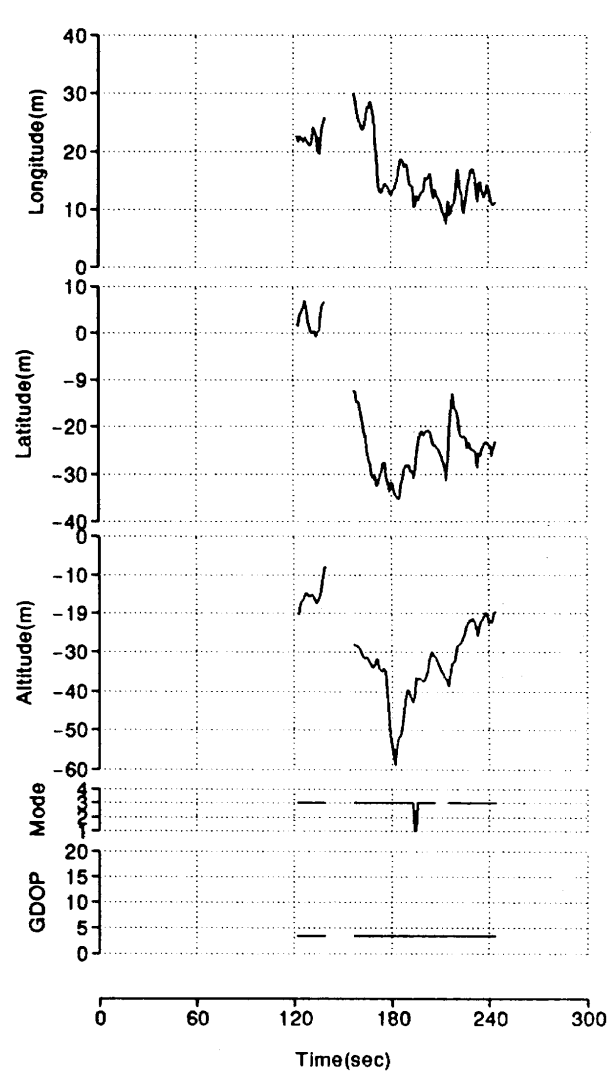
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

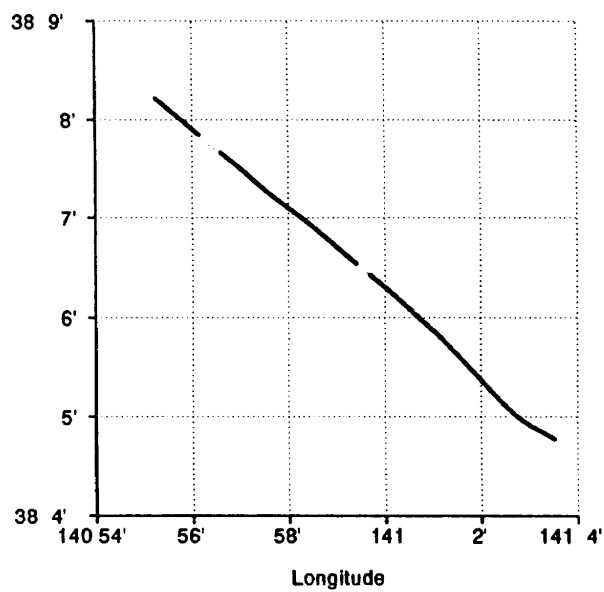


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

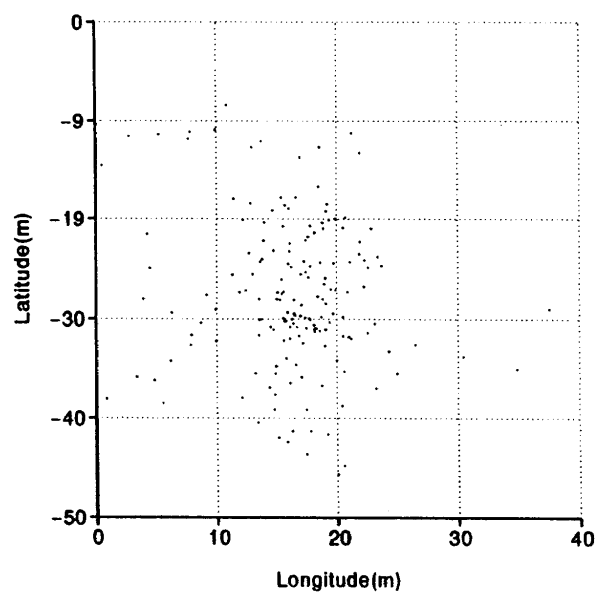


(2-b) Diff. TIME HISTORY

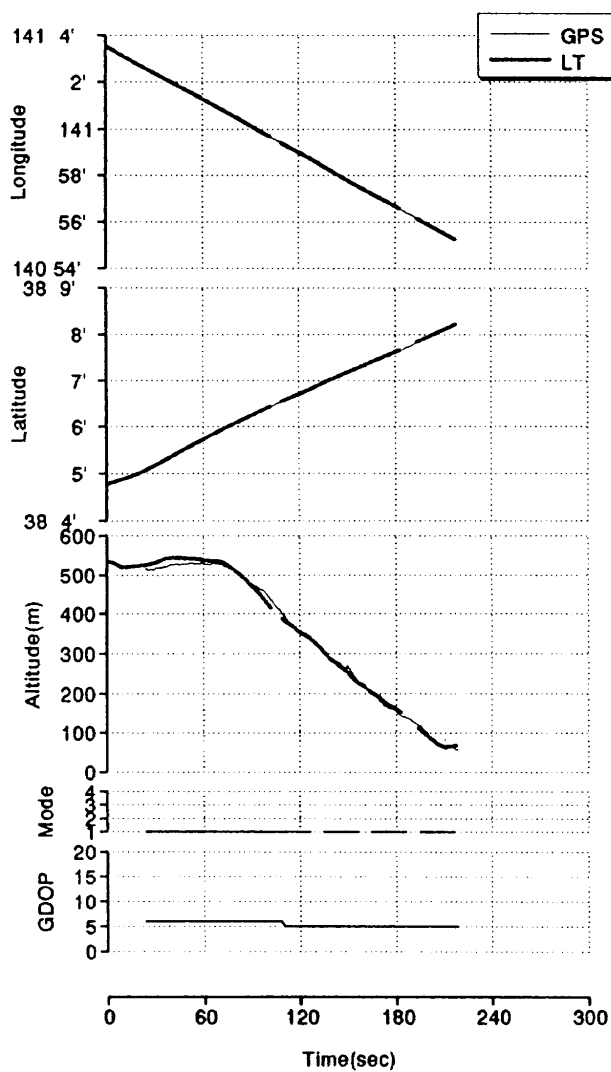
図 4. 8 F03C04(A-3) 実験結果



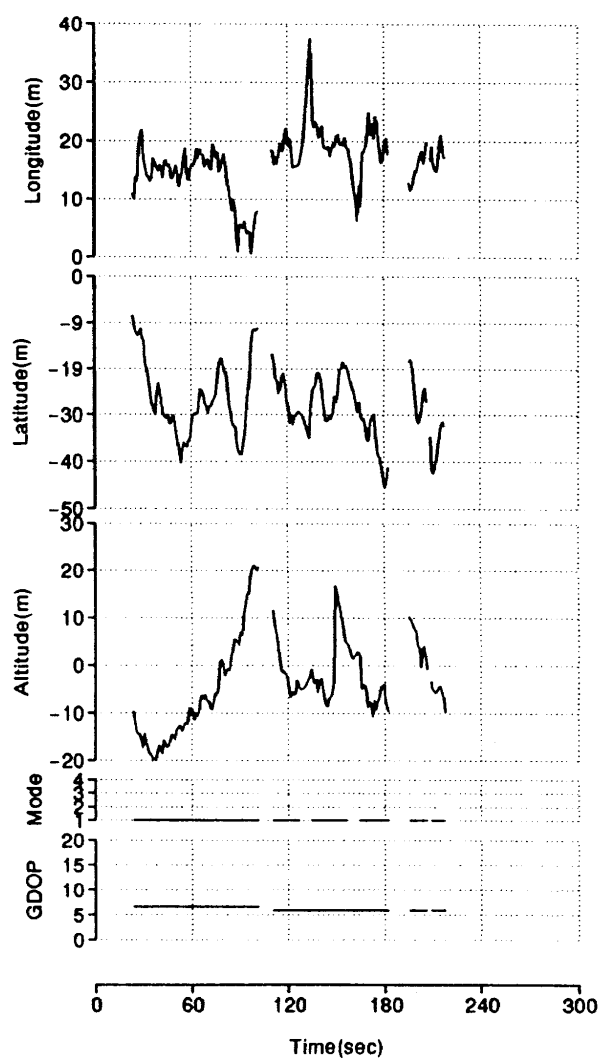
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

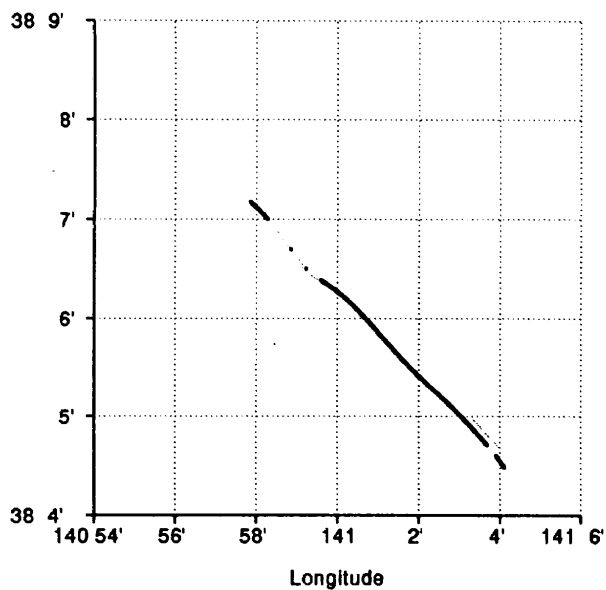


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

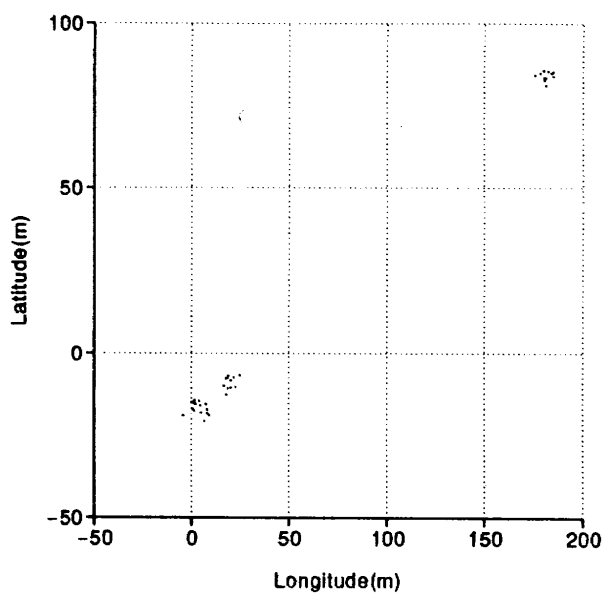


(2-b) Diff. TIME HISTORY

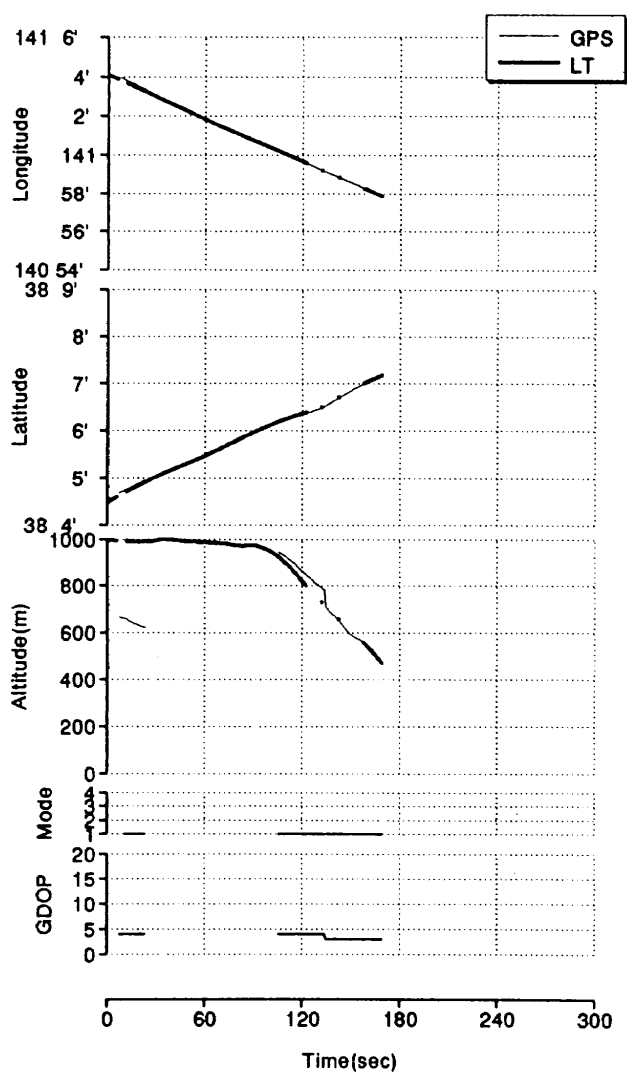
図 4.9 F04C04(SA-2) 実験結果



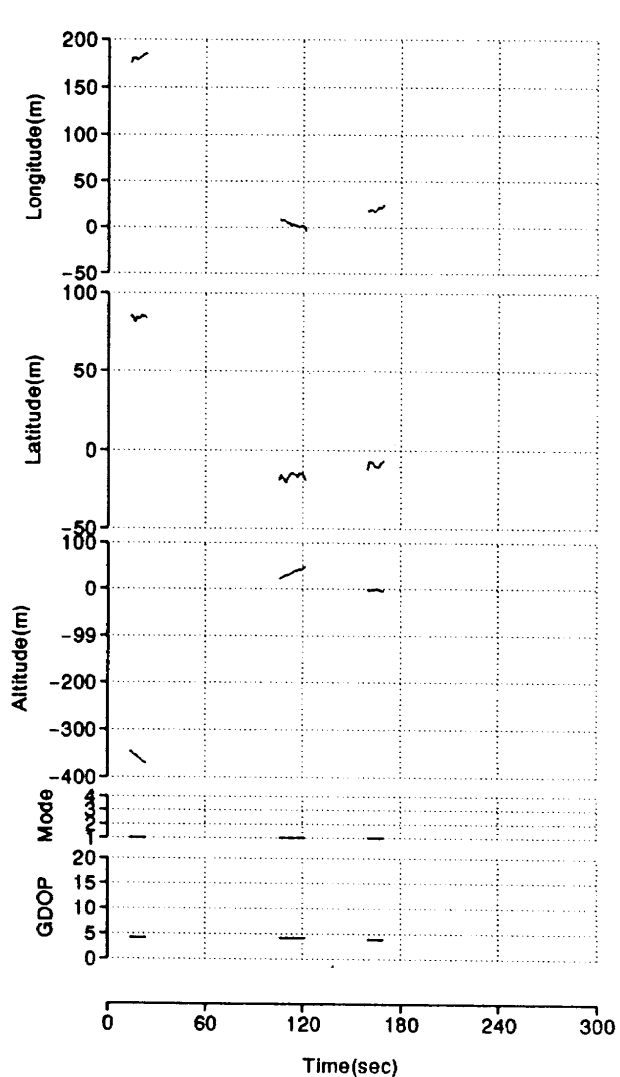
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

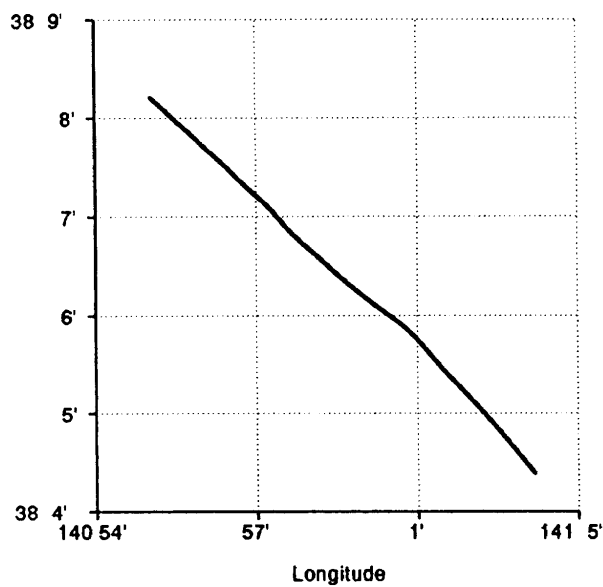


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

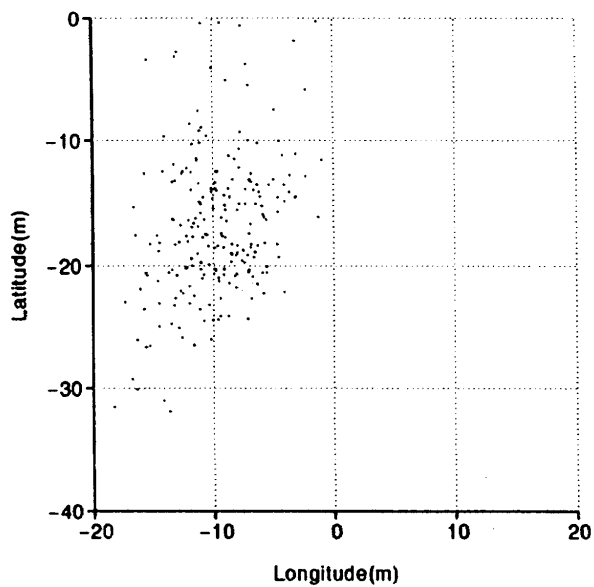


(2-b) Diff. TIME HISTORY

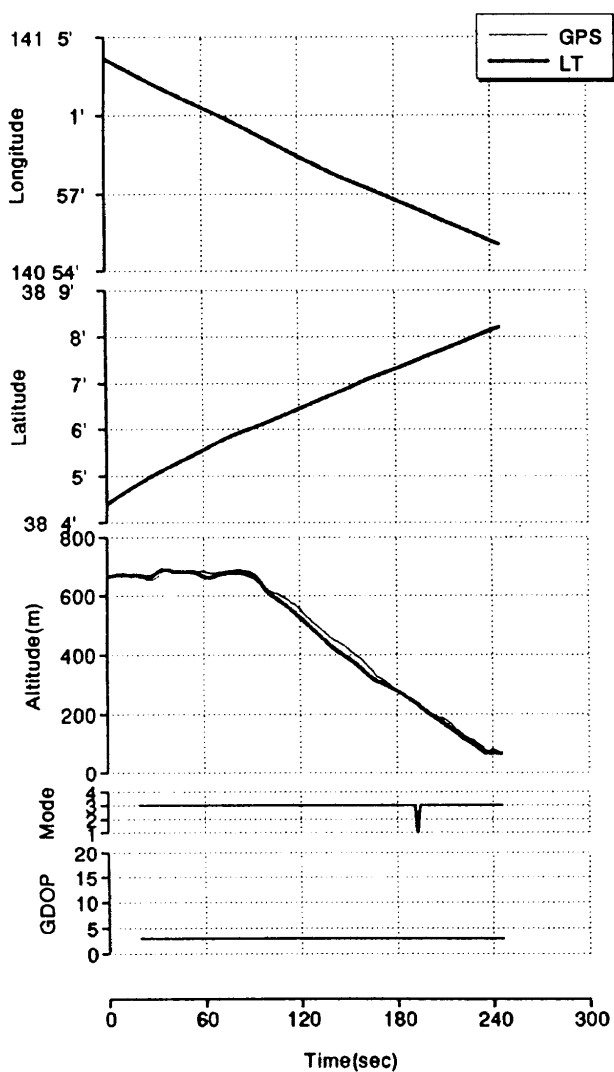
図 4.10 F04C05(A-3) 実験結果



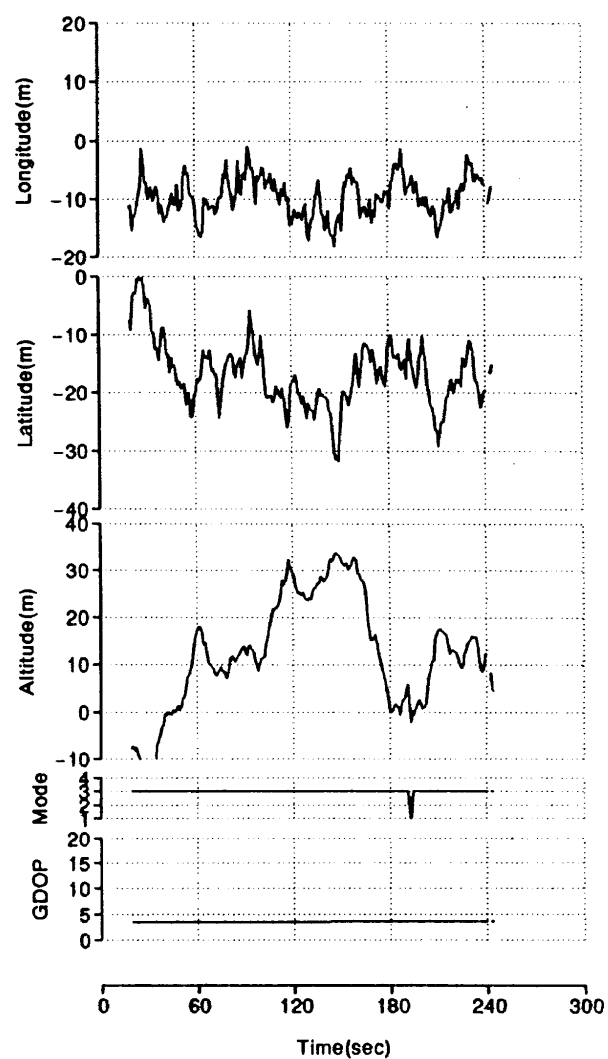
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

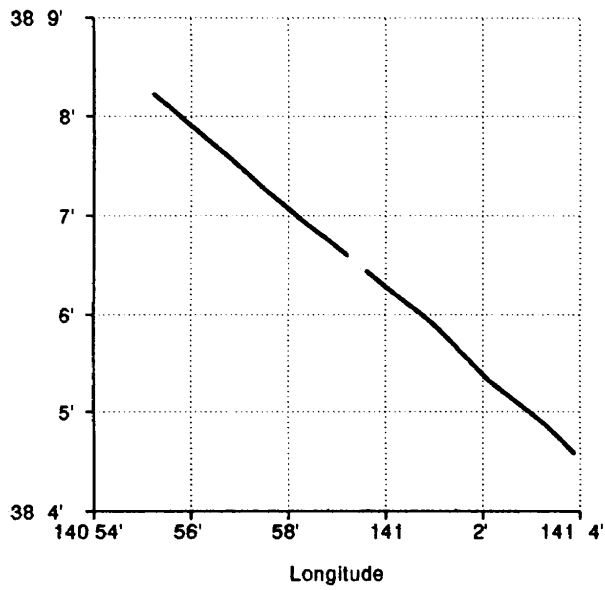


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

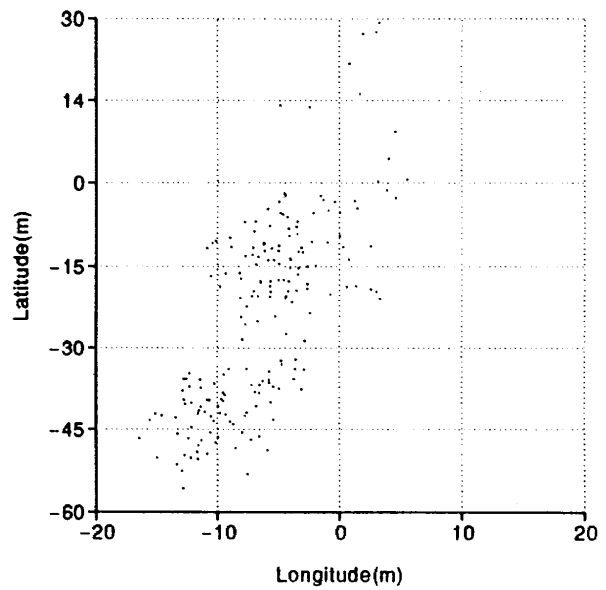


(2-b) Diff. TIME HISTORY

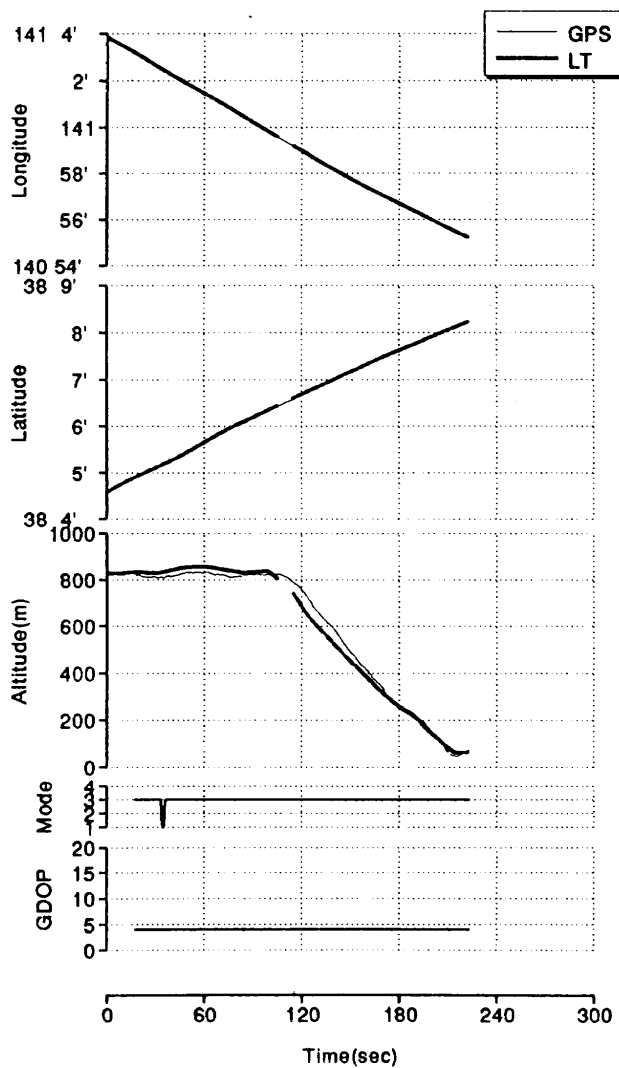
図 4.11 F05C03(A-2) 実験結果



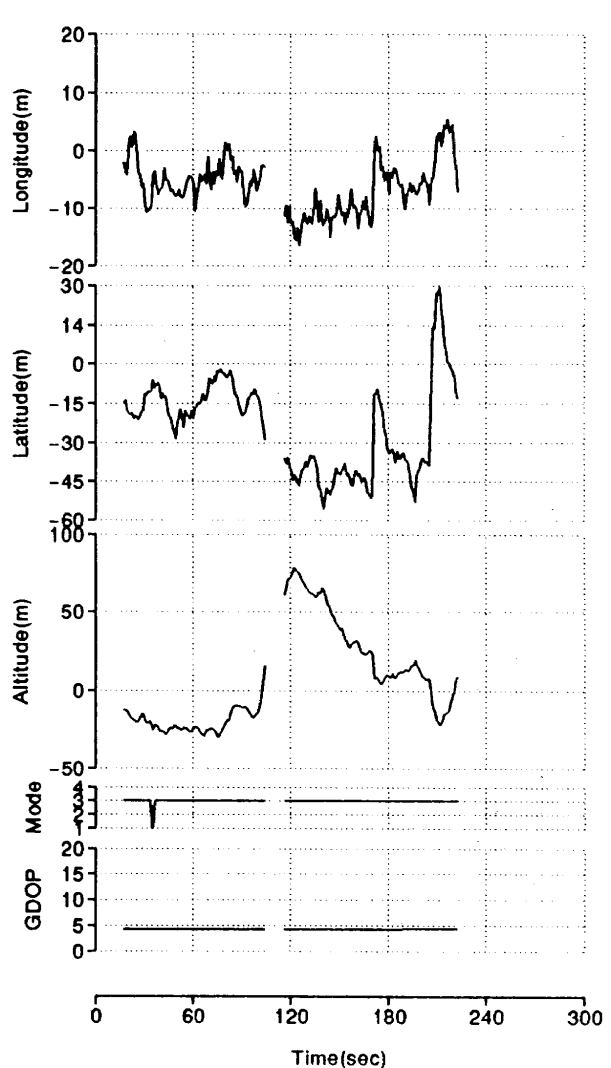
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

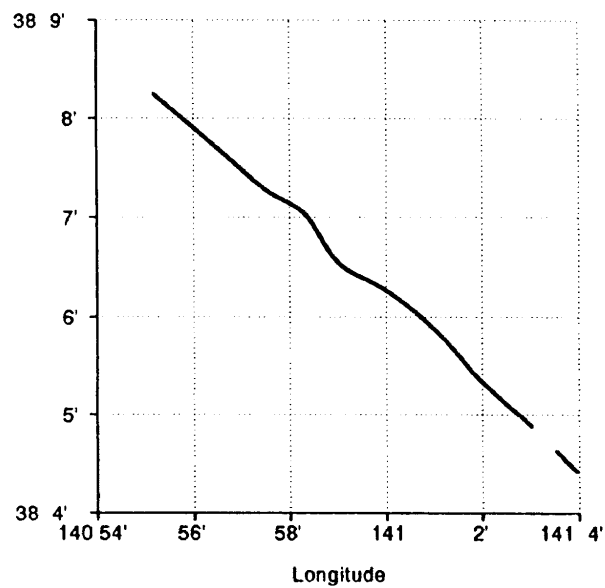


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

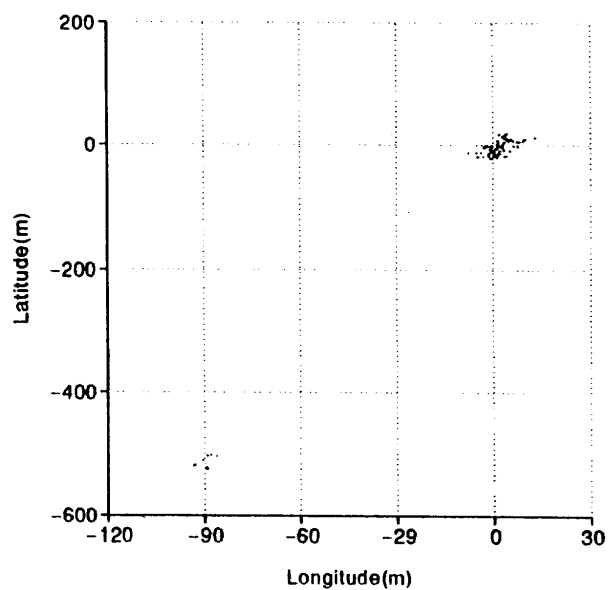


(2-b) Diff. TIME HISTORY

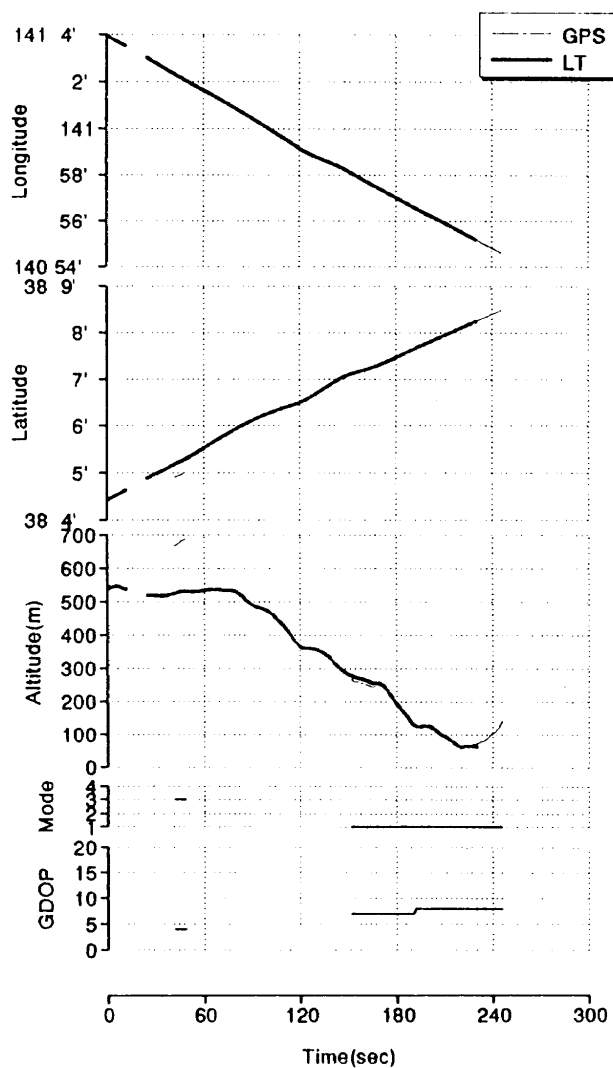
図 4.12 F05C04(A-3) 実験結果



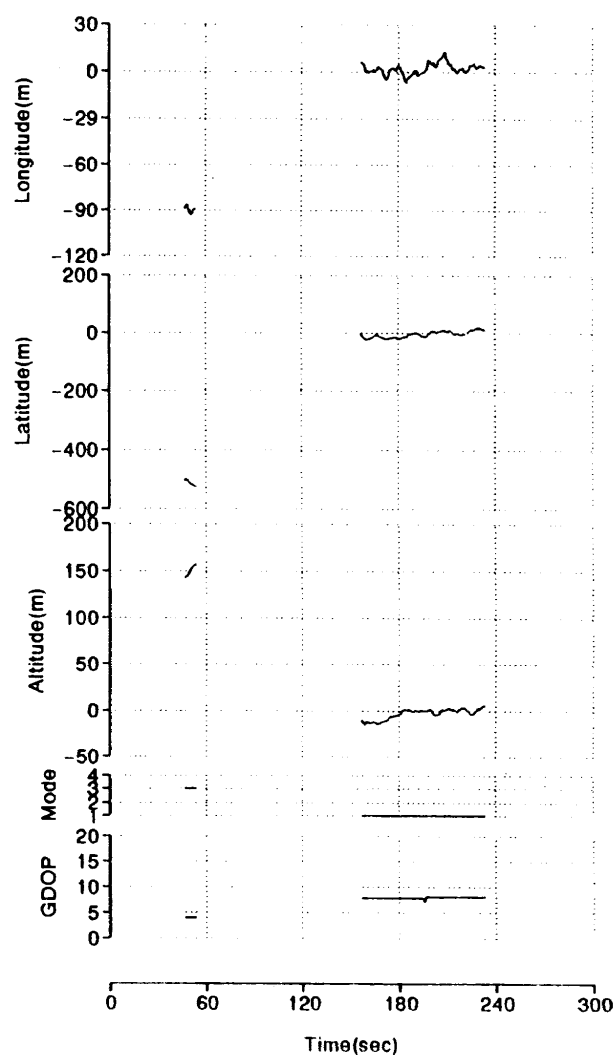
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

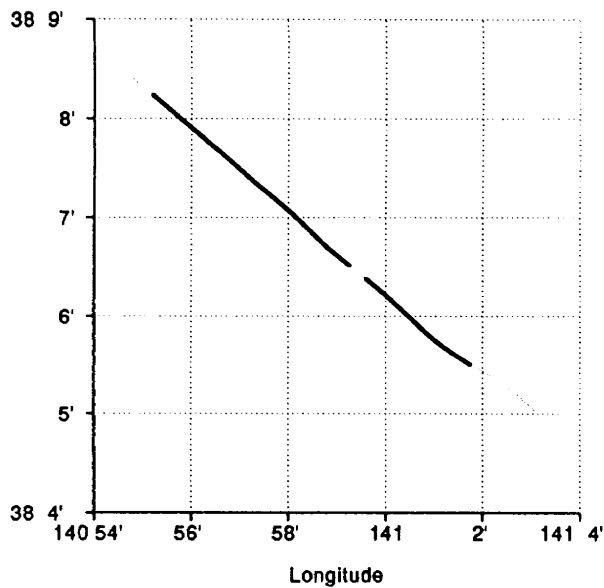


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

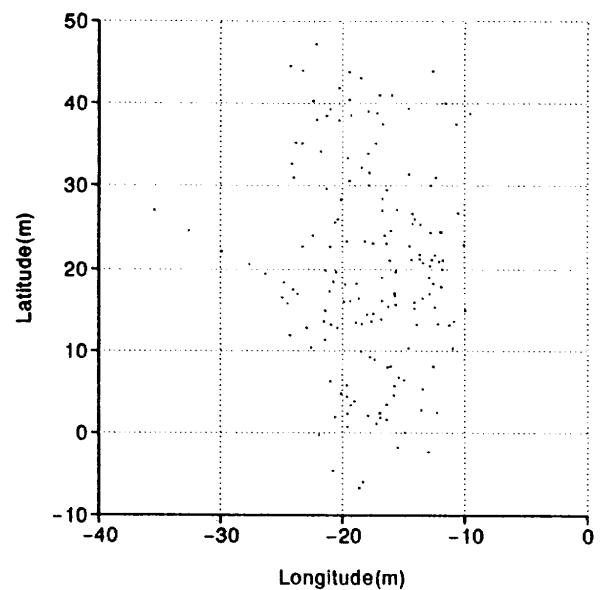


(2-b) Diff. TIME HISTORY

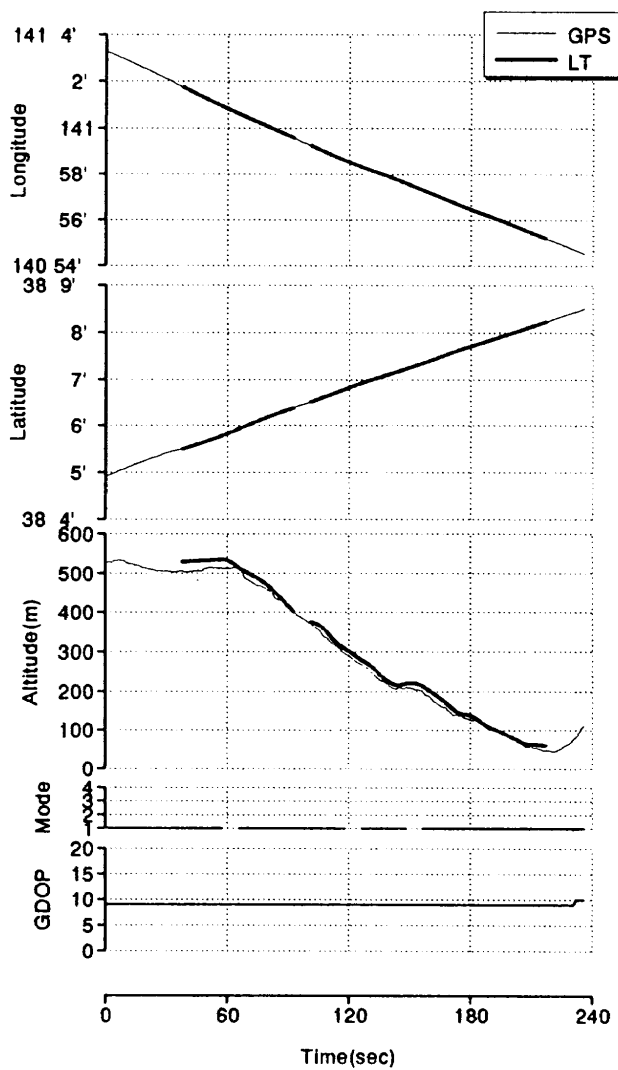
図 4.13 F05C05(SA-1) 実験結果



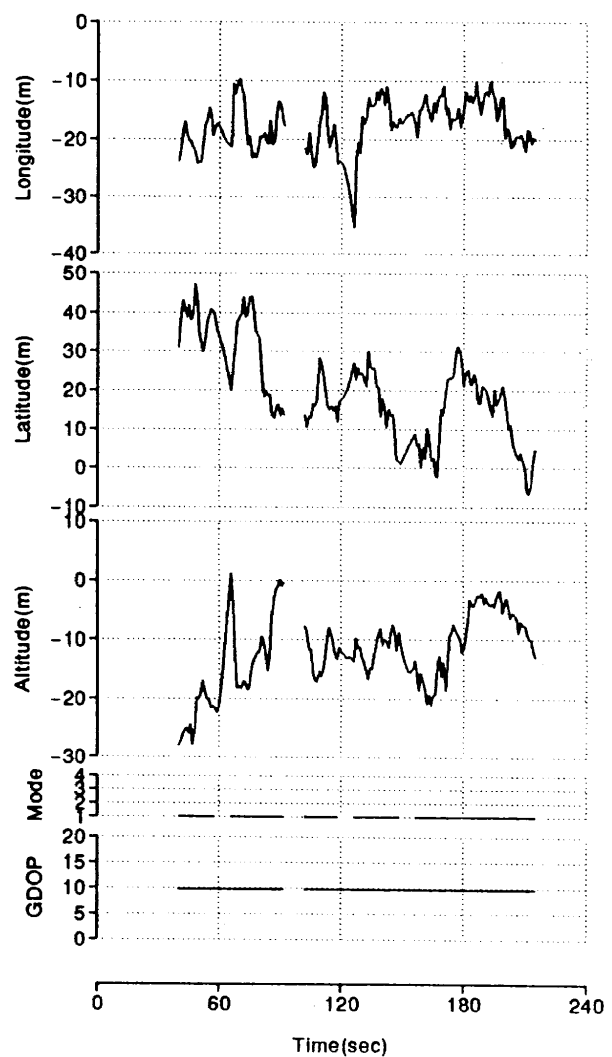
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

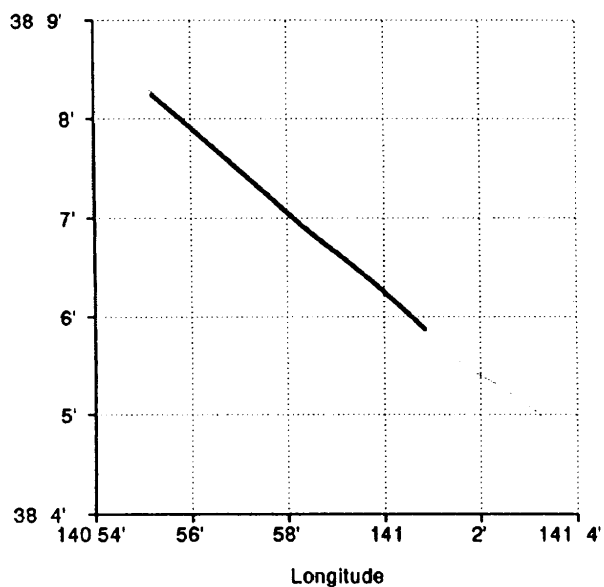


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

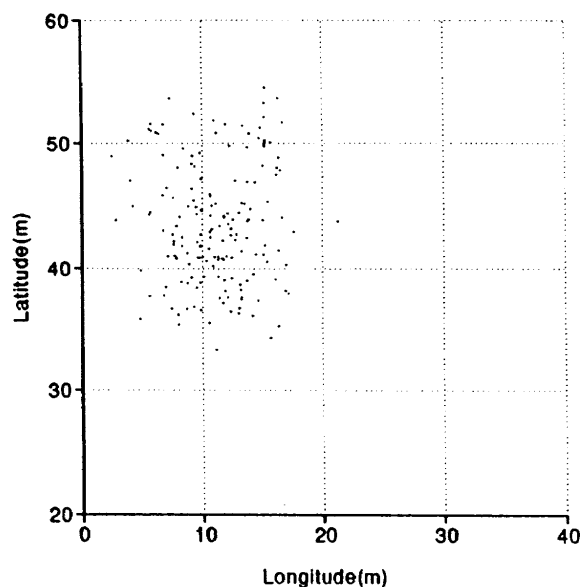


(2-b) Diff. TIME HISTORY

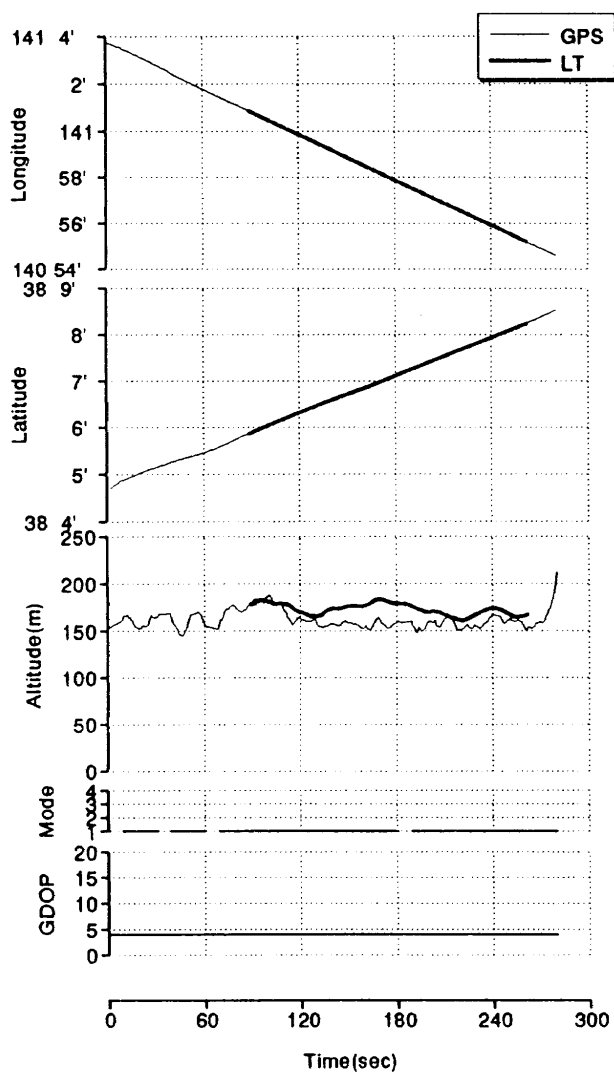
図 4.14 F05C06(SA-2 実験結果



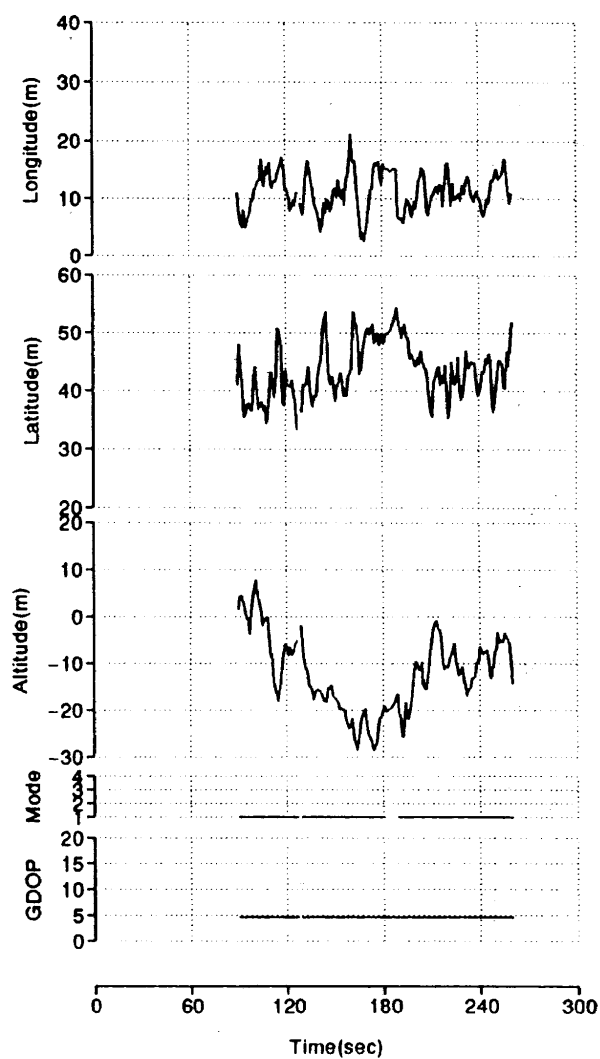
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

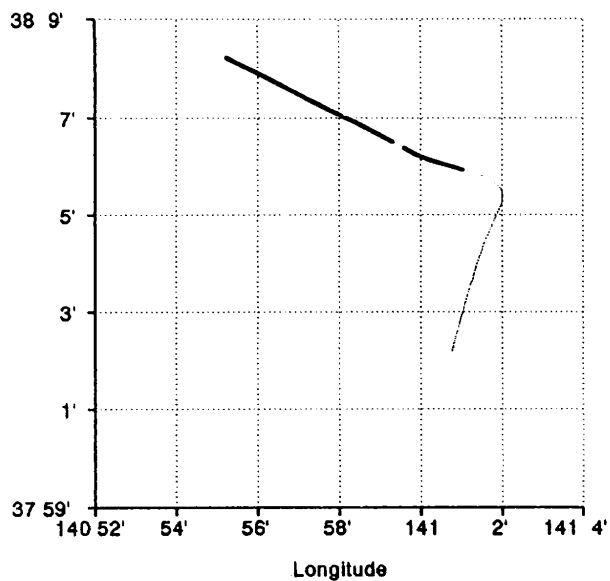


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

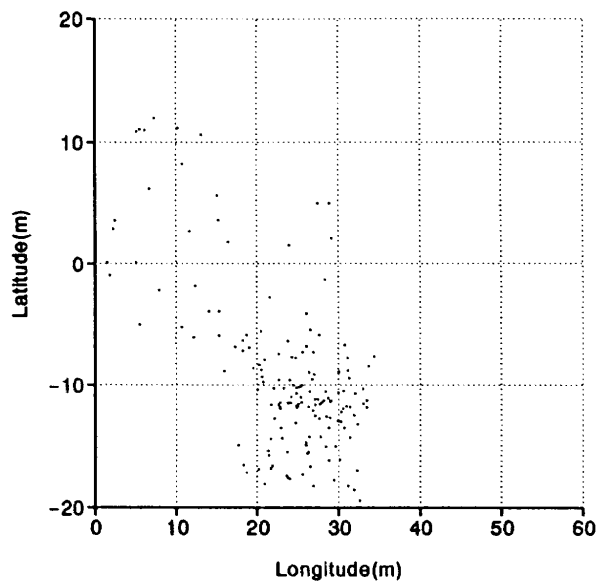


(2-b) Diff. TIME HISTORY

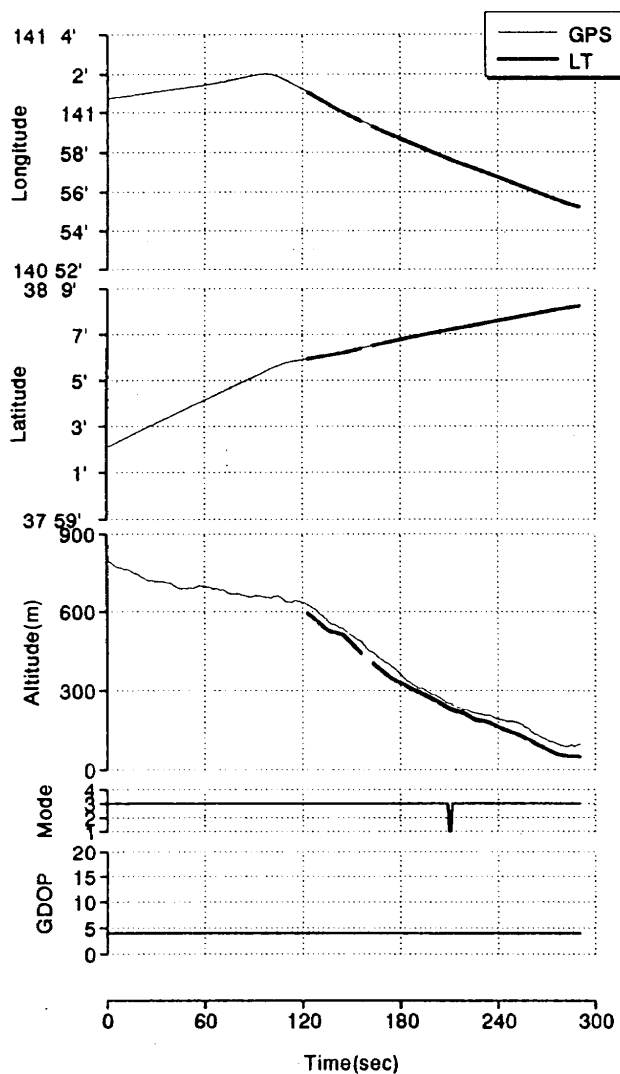
図 4.15 F05C07(L-4) 実験結果



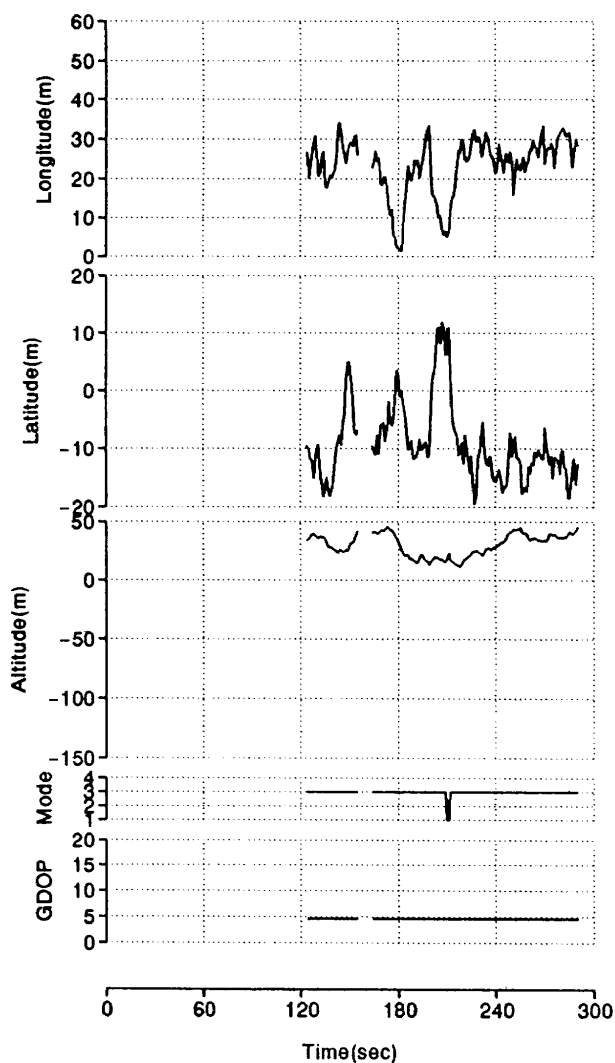
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

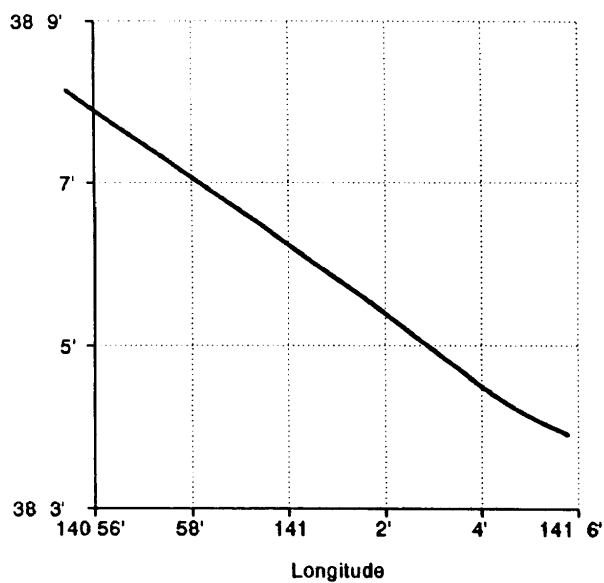


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

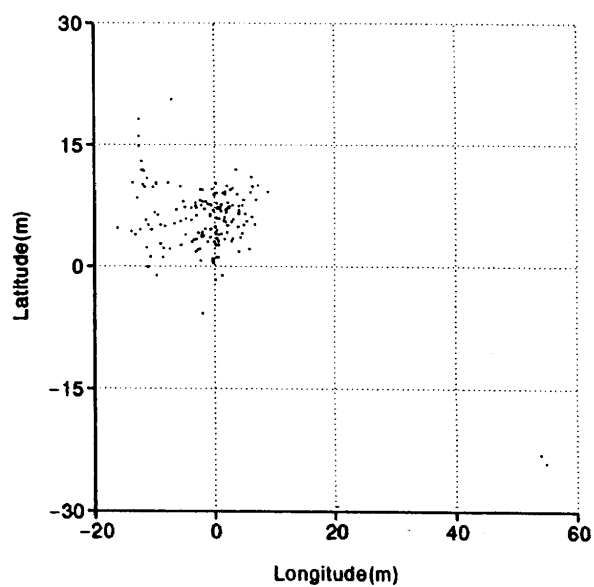


(2-b) Diff. TIME HISTORY

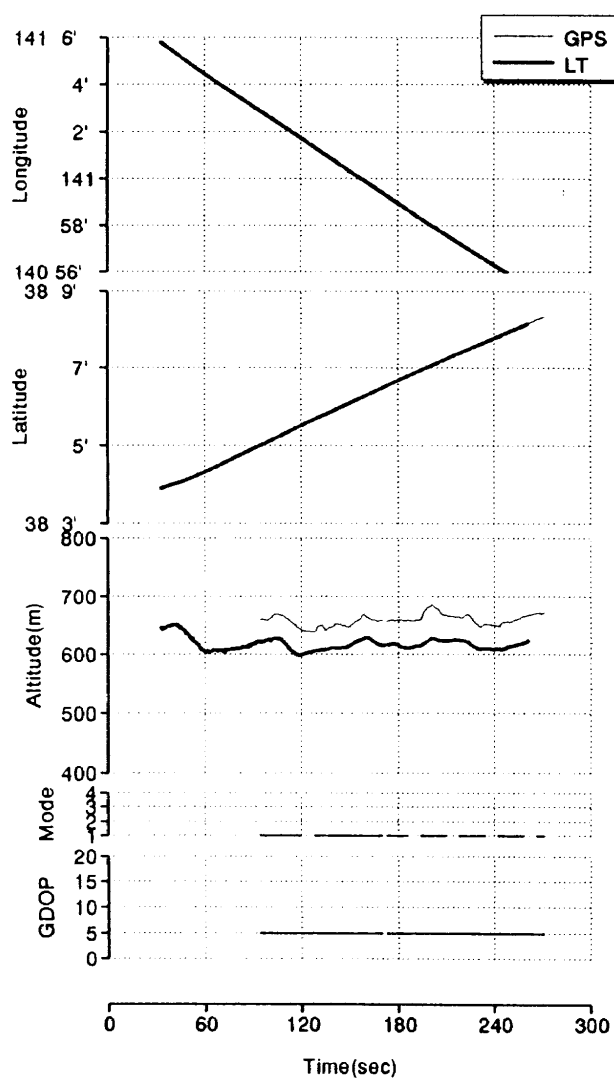
図 4.16 F05C08(SA-5) 実験結果



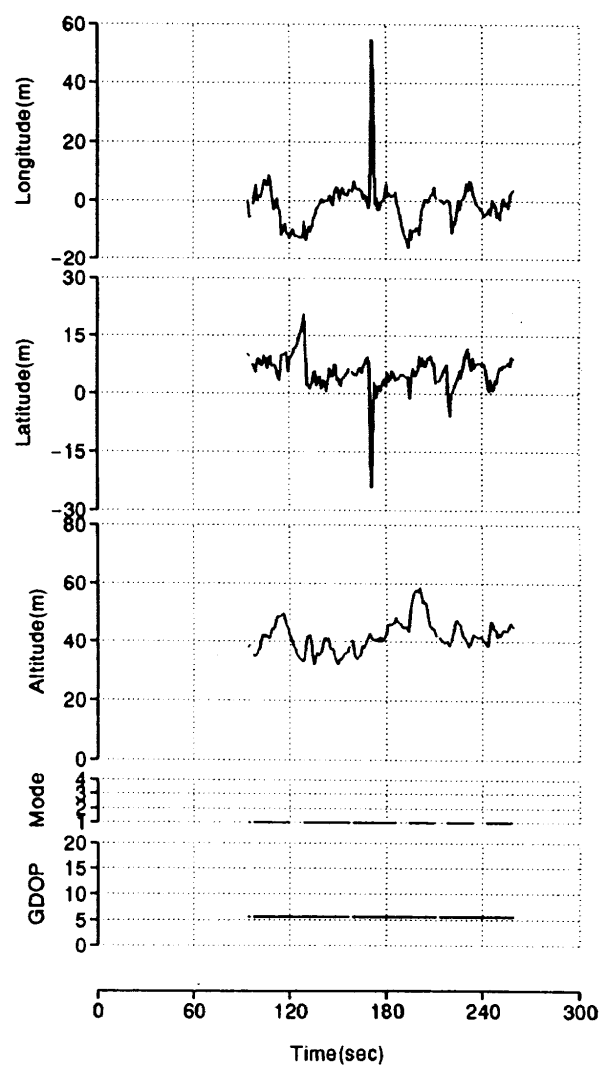
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

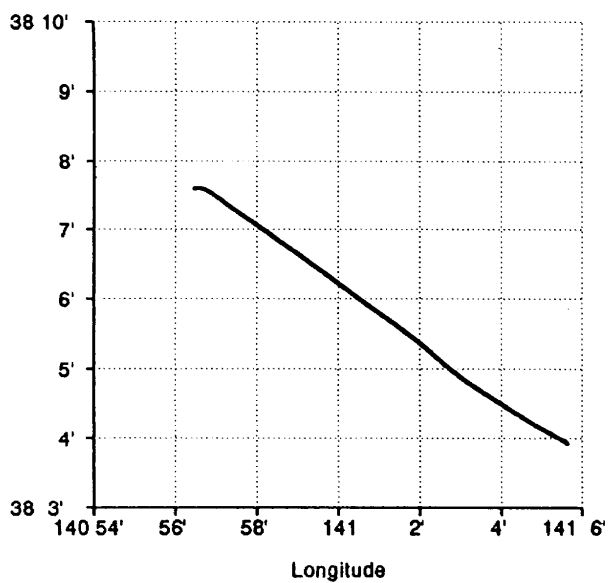


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

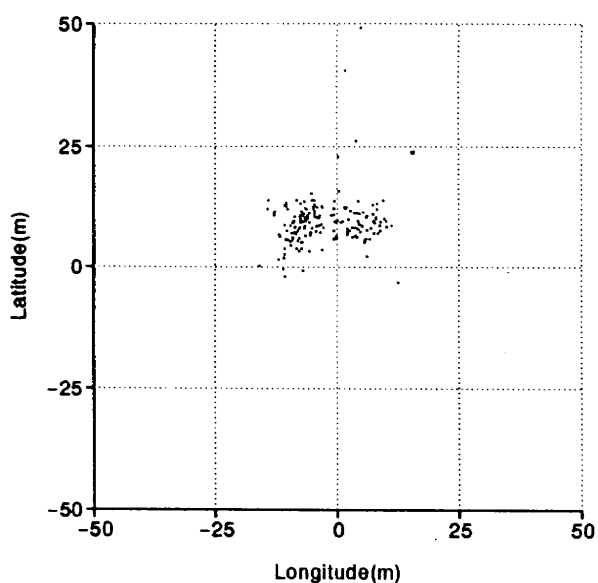


(2-b) Diff. TIME HISTORY

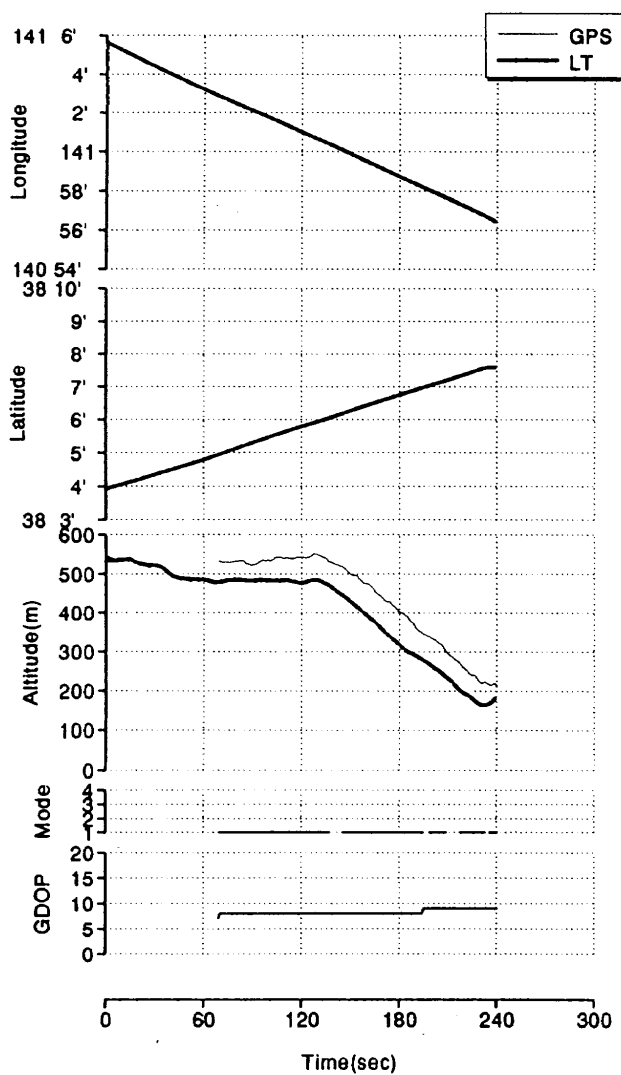
図 4.17 FX2C04(L-1) 実験結果



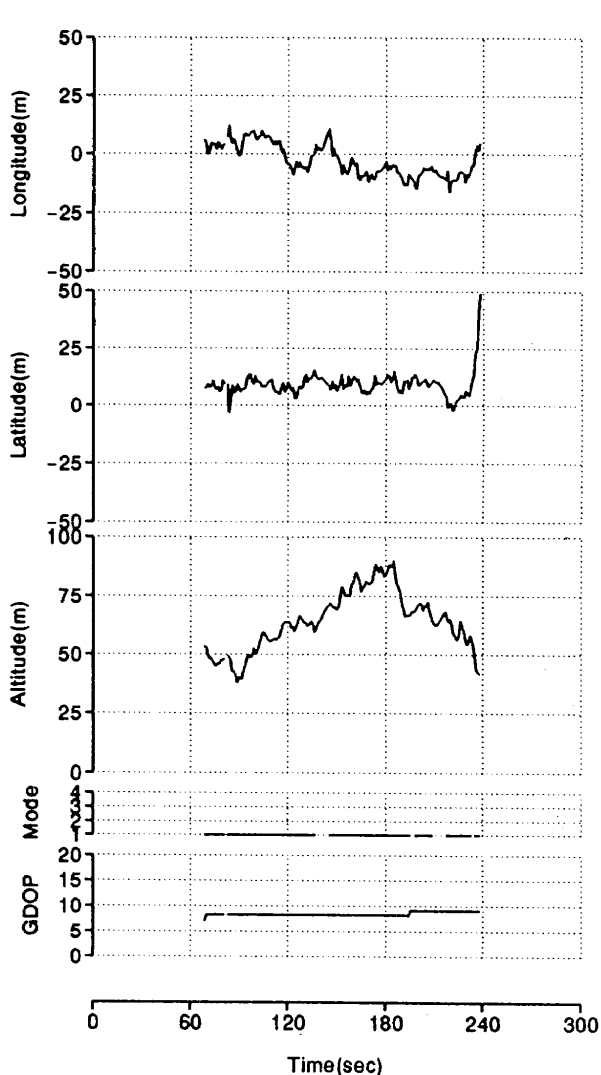
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

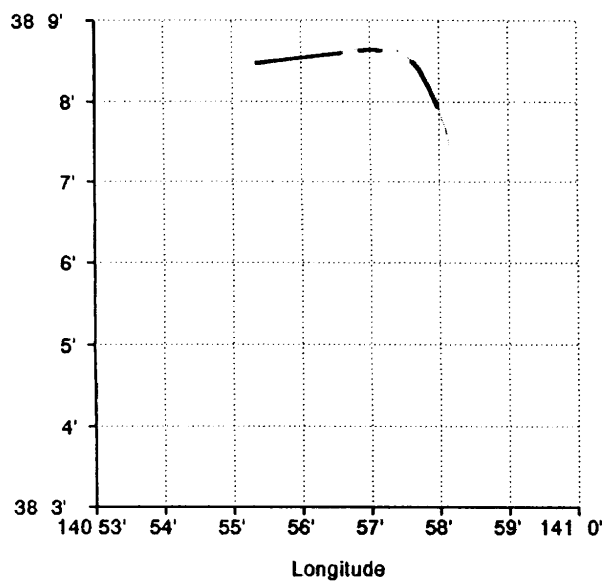


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

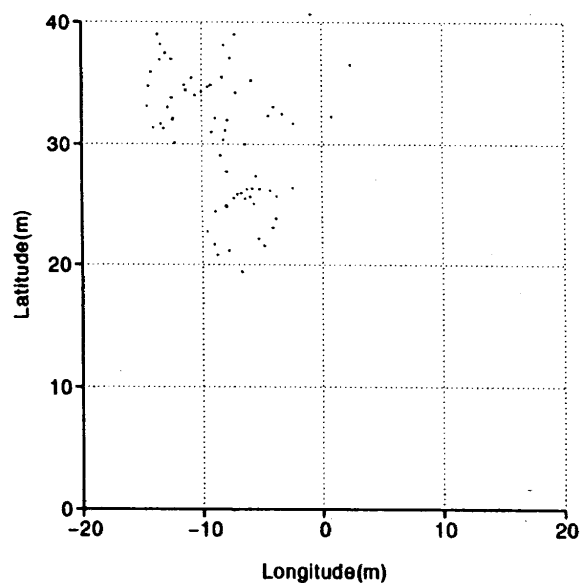


(2-b) Diff. TIME HISTORY

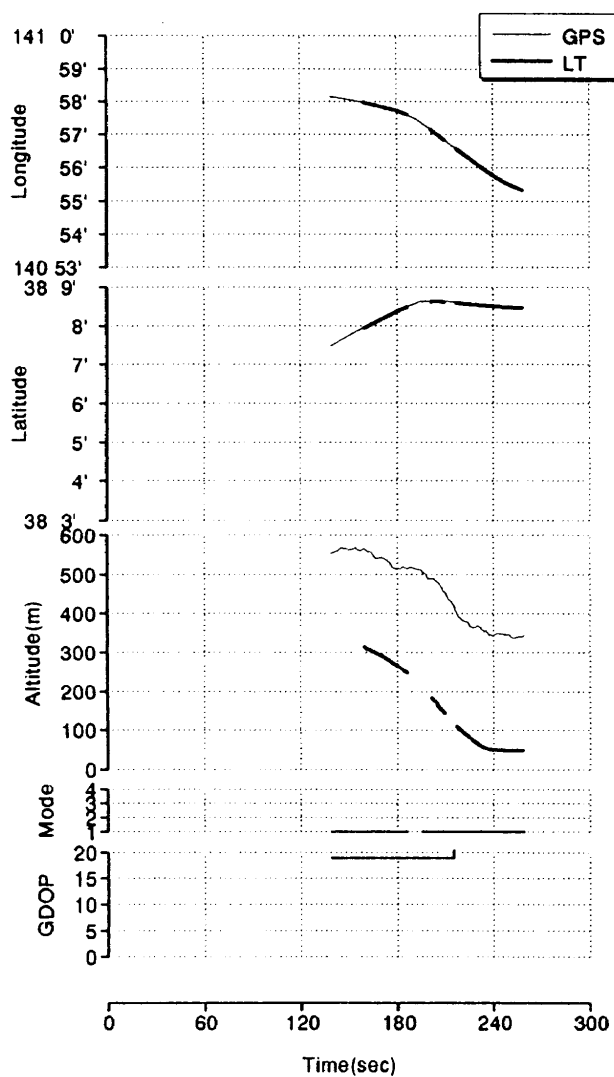
図 4.18 FX2C05(A-1) 実験結果



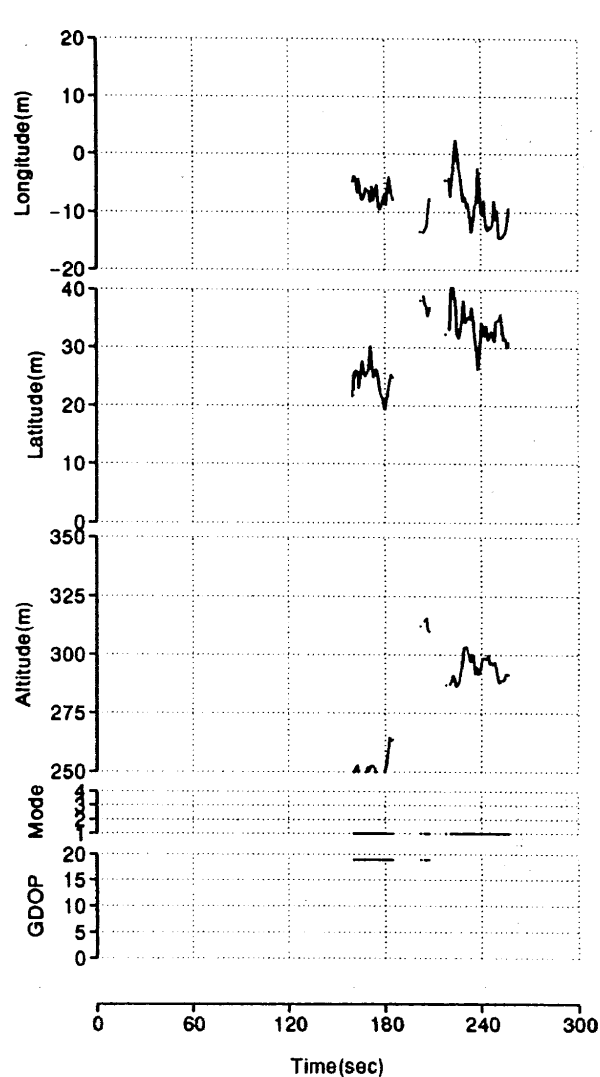
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

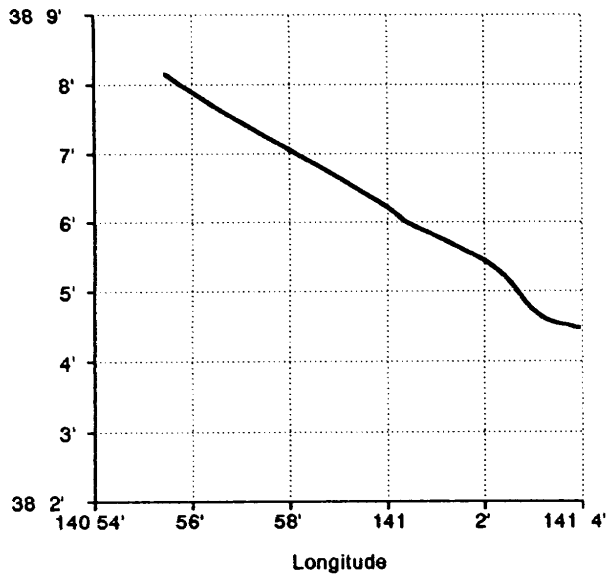


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

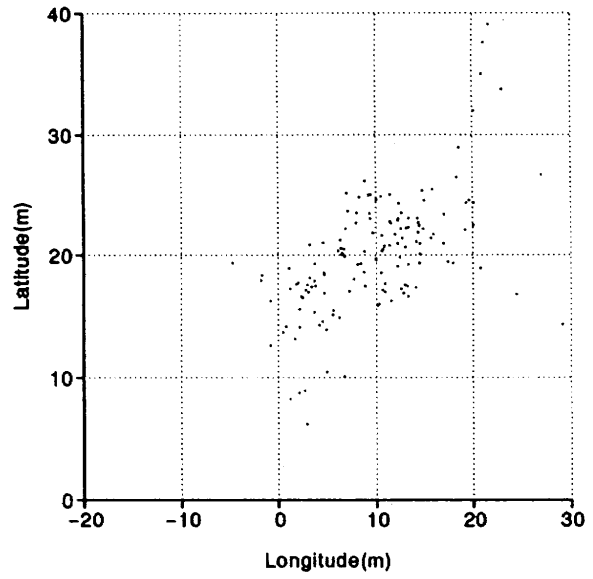


(2-b) Diff. TIME HISTORY

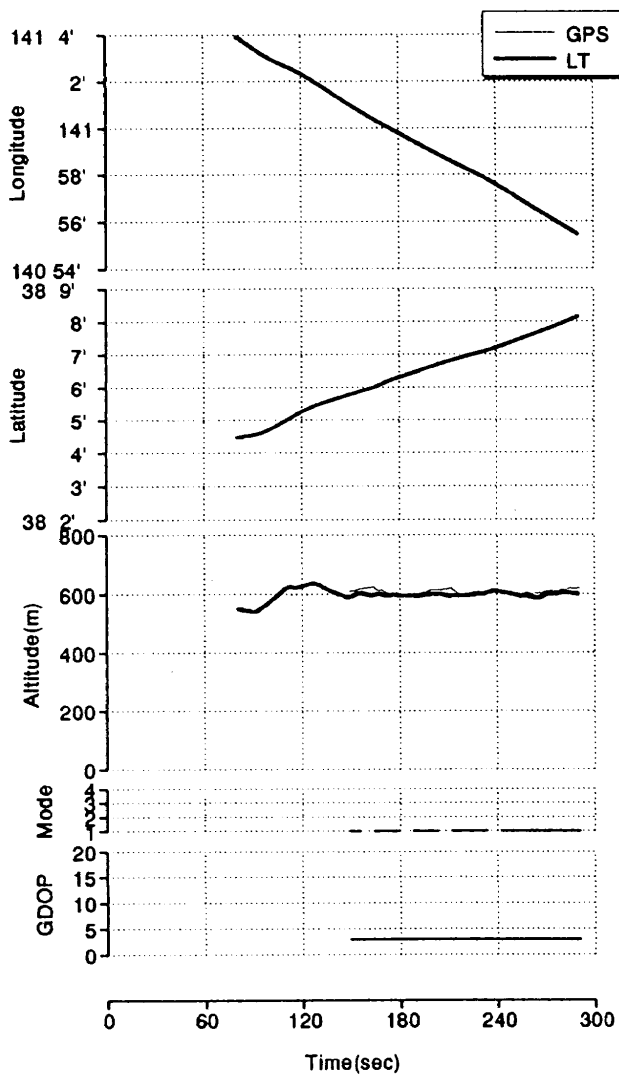
図 4.19 FX2C06(SA-6) 実験結果



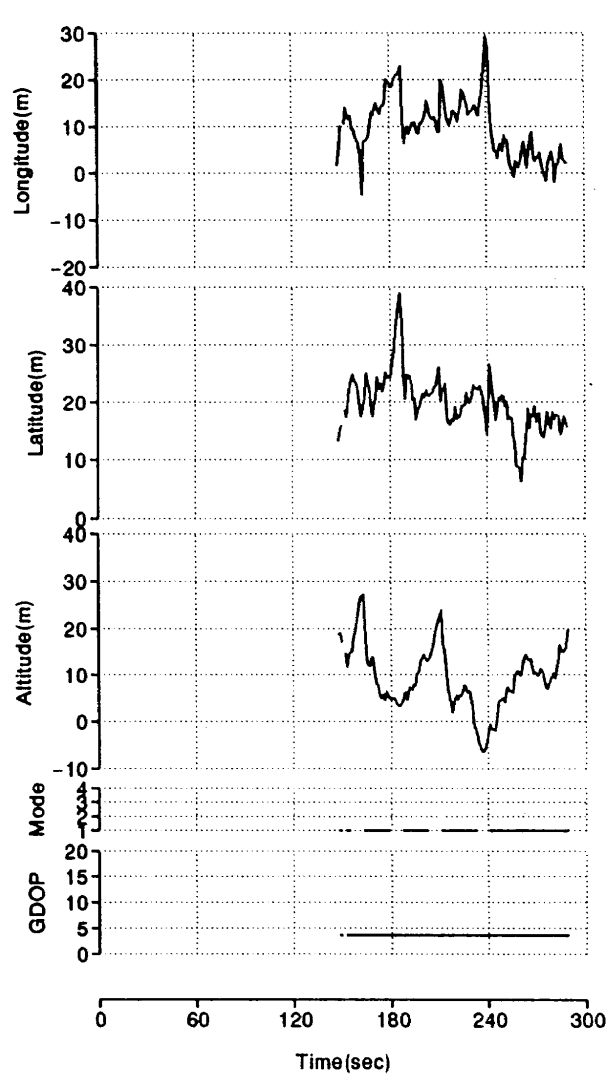
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

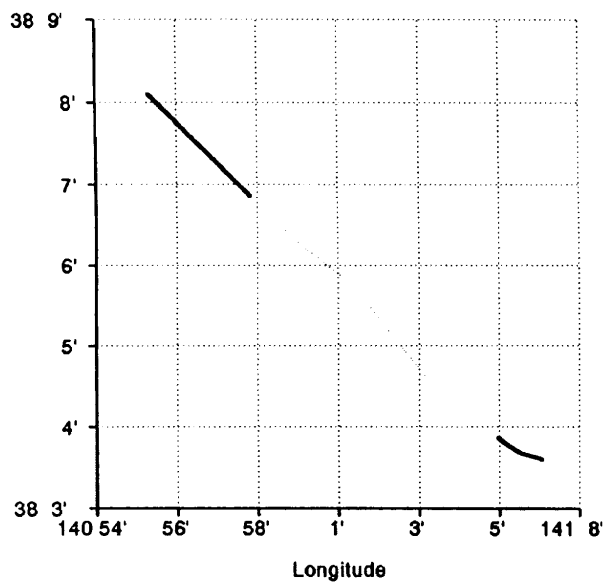


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

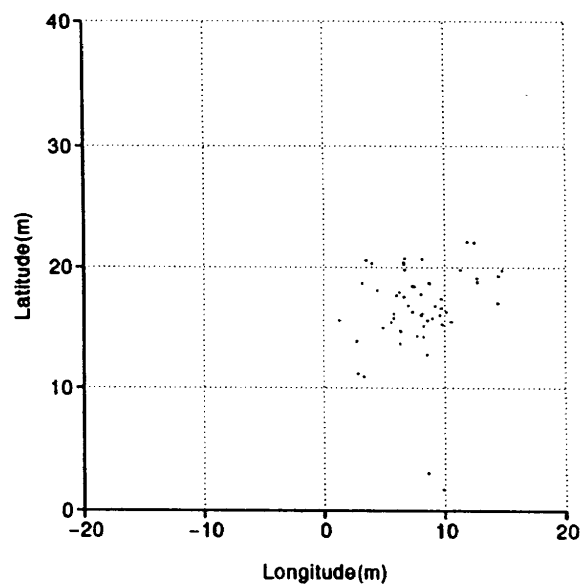


(2-b) Diff. TIME HISTORY

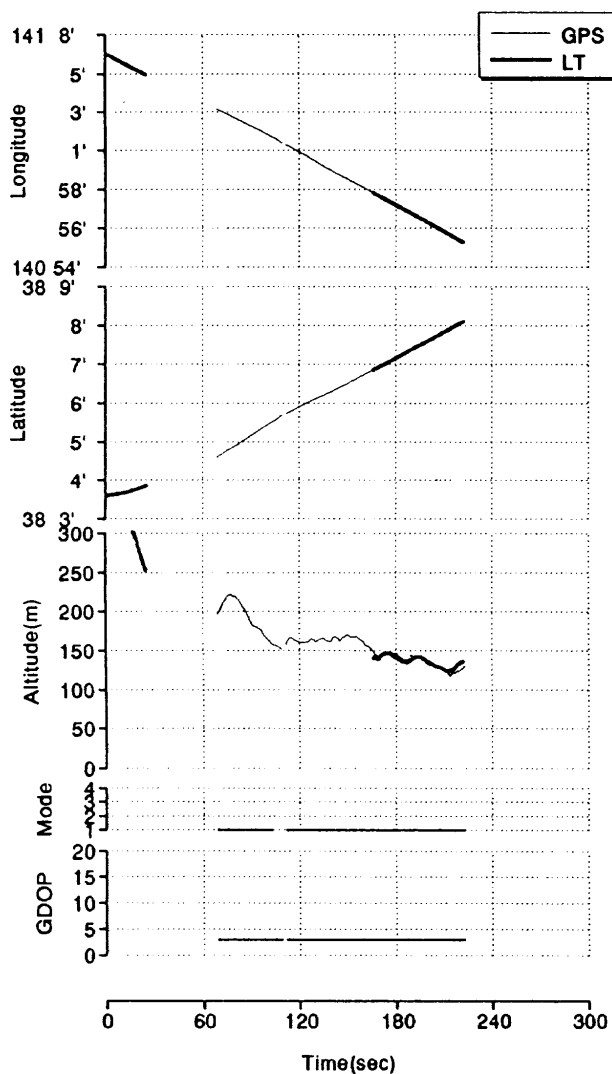
図 4.20 F06C03(L-1) 実験結果



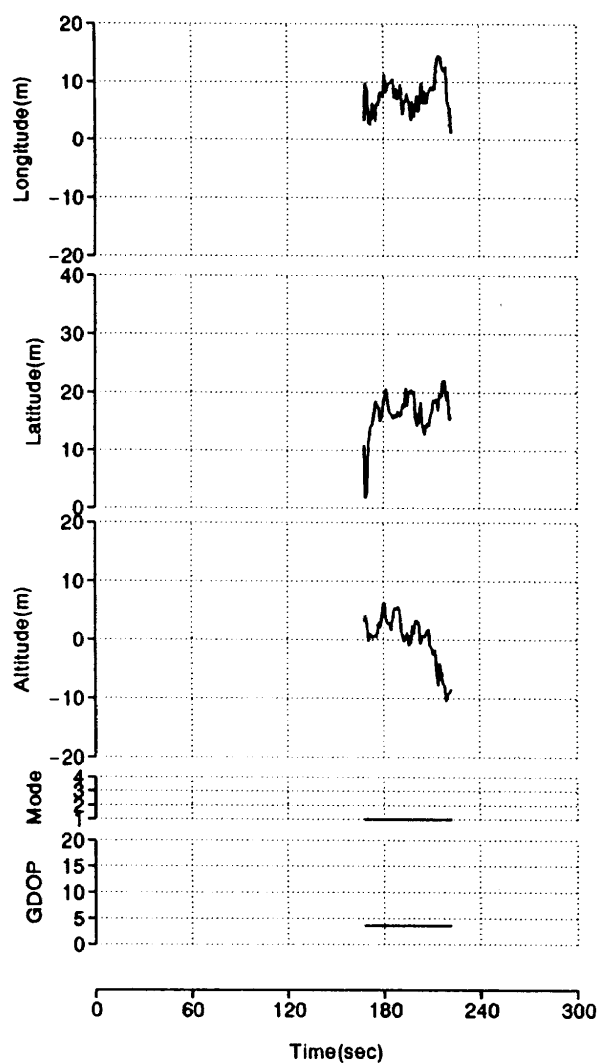
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

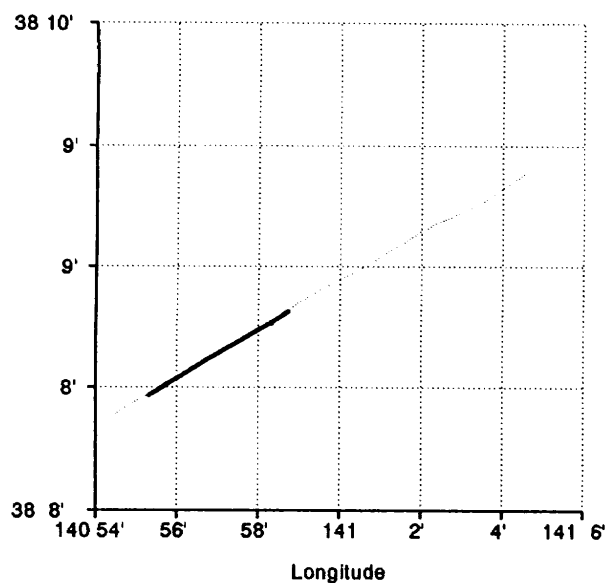


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

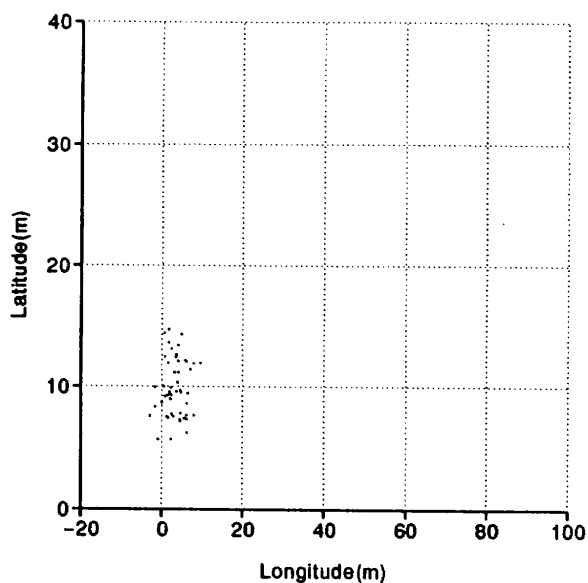


(2-b) Diff. TIME HISTORY

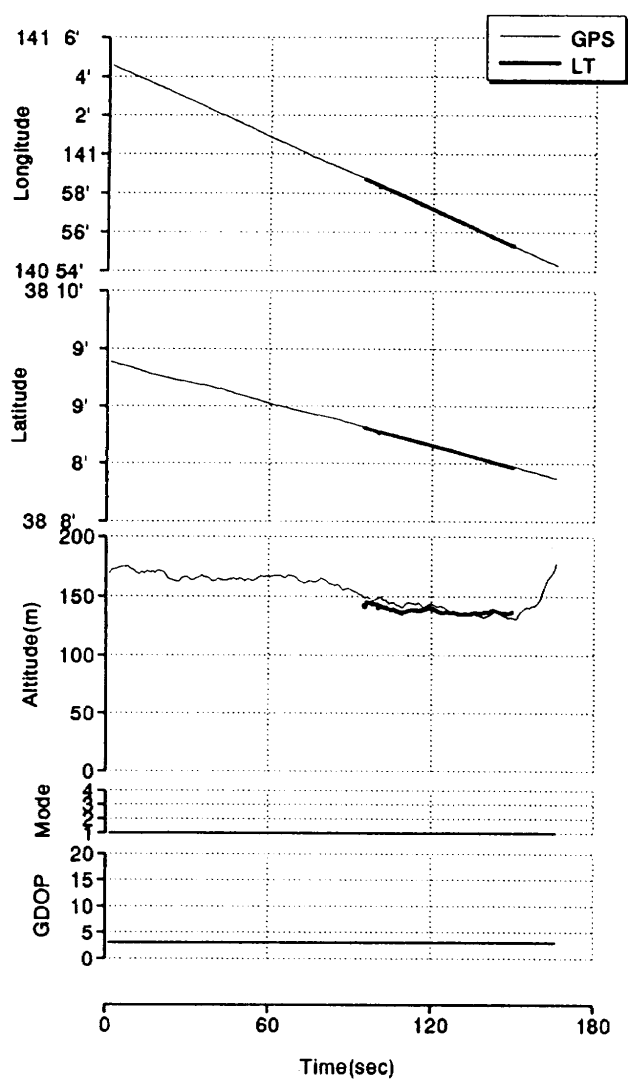
図 4.21 F06C04(L-6) 実験結果



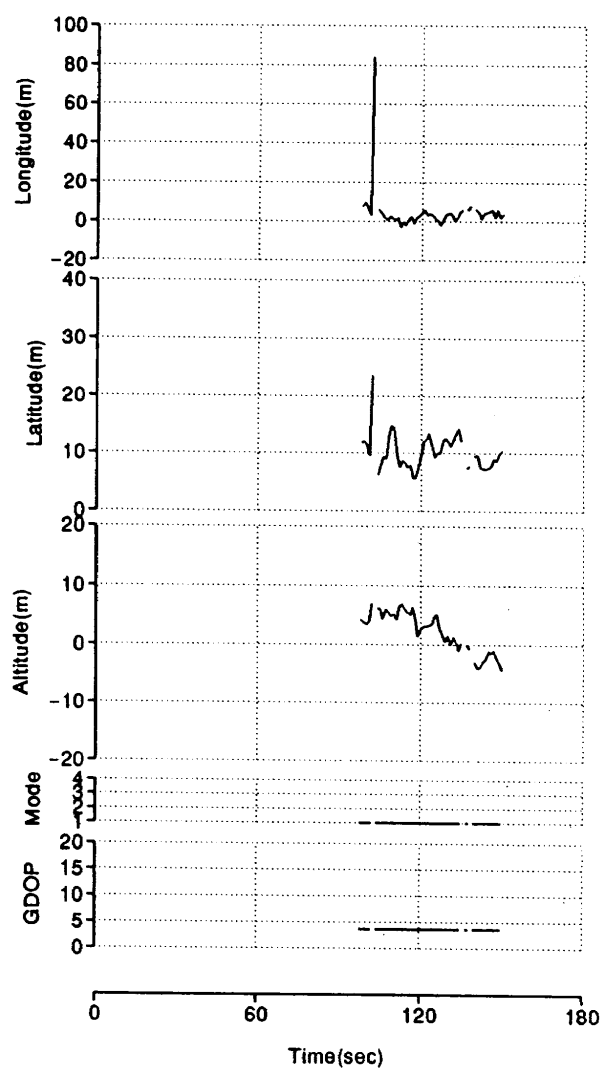
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

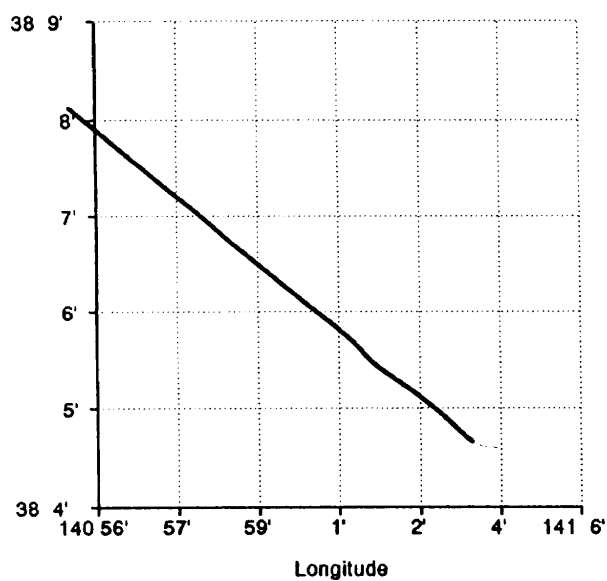


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

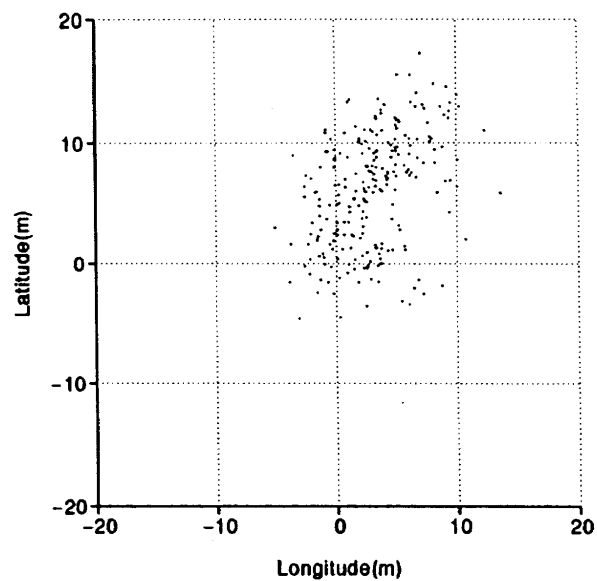


(2-b) Diff. TIME HISTORY

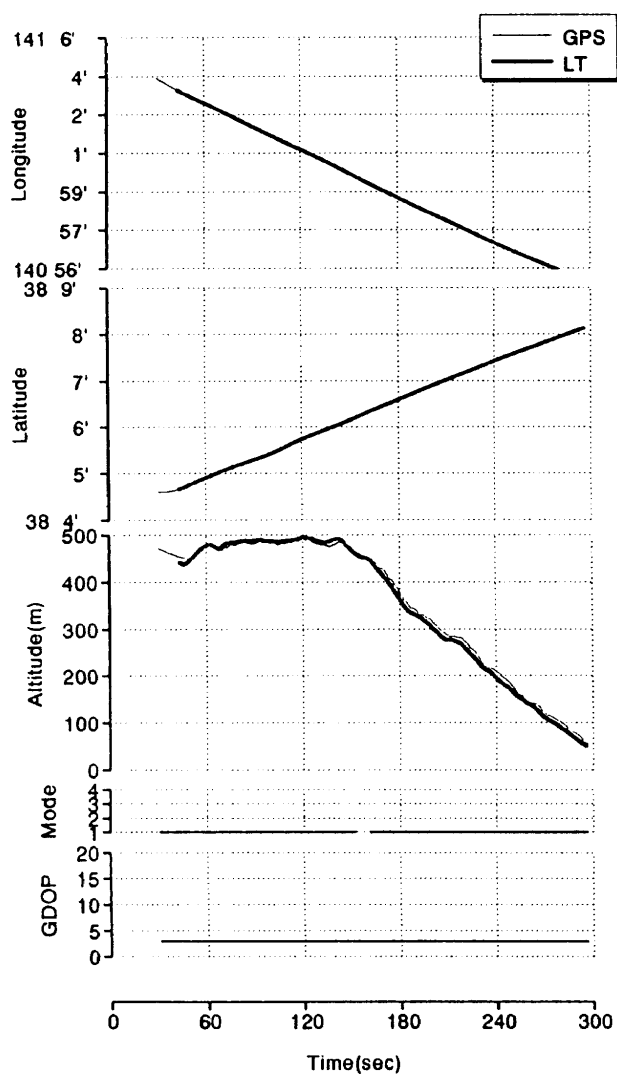
図 4.22 F06C05(SL-3) 実験結果



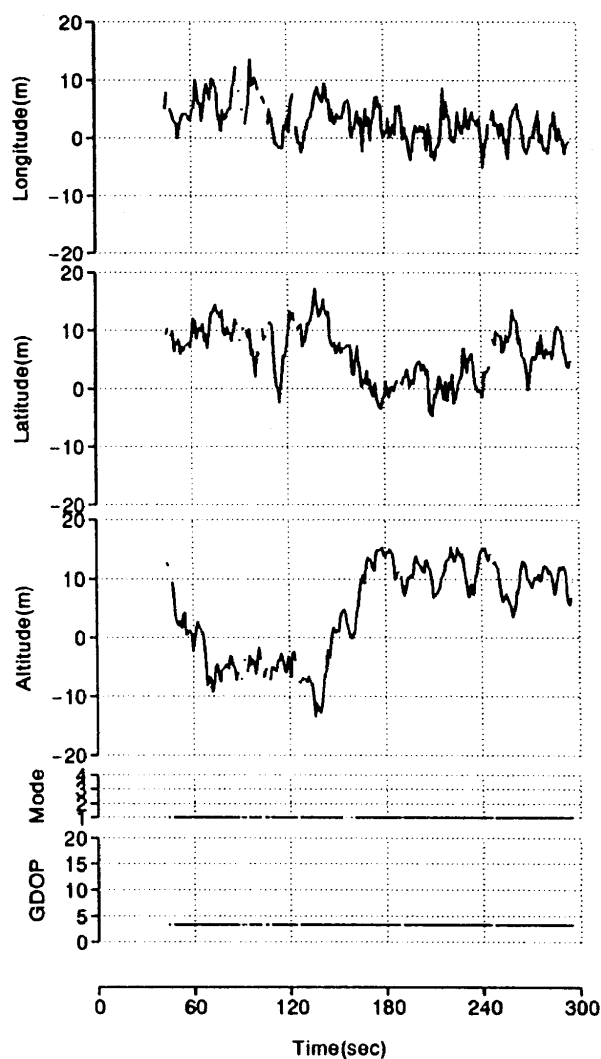
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

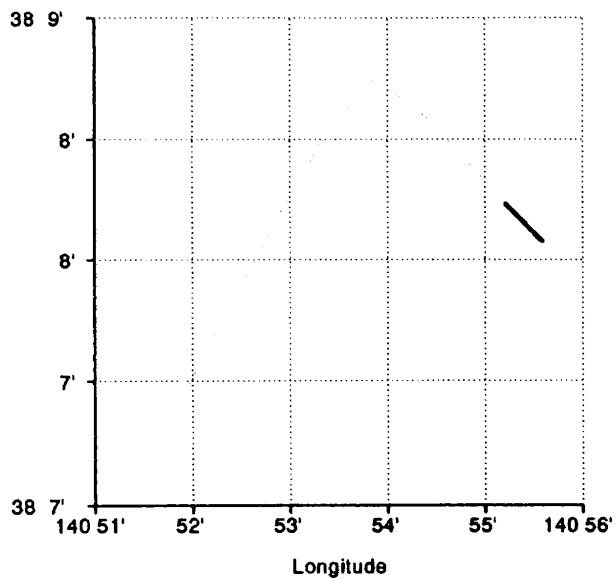


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

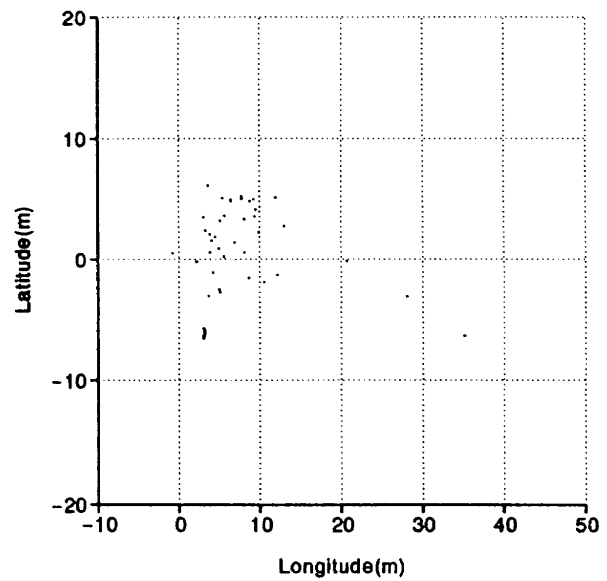


(2-b) Diff. TIME HISTORY

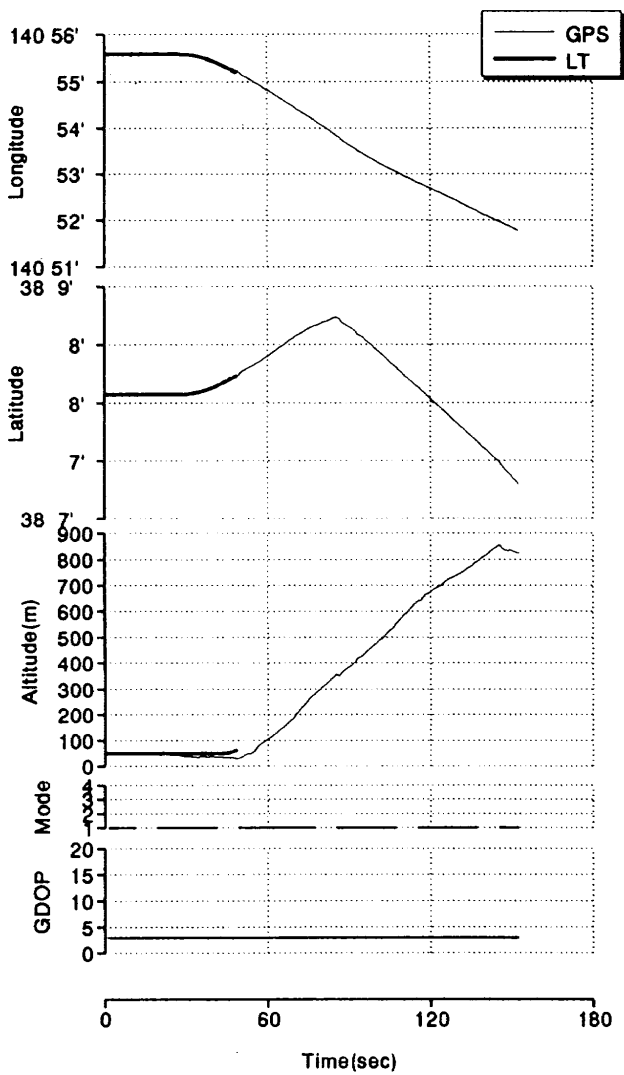
図 4.23 F06C06(A-1) 実験結果



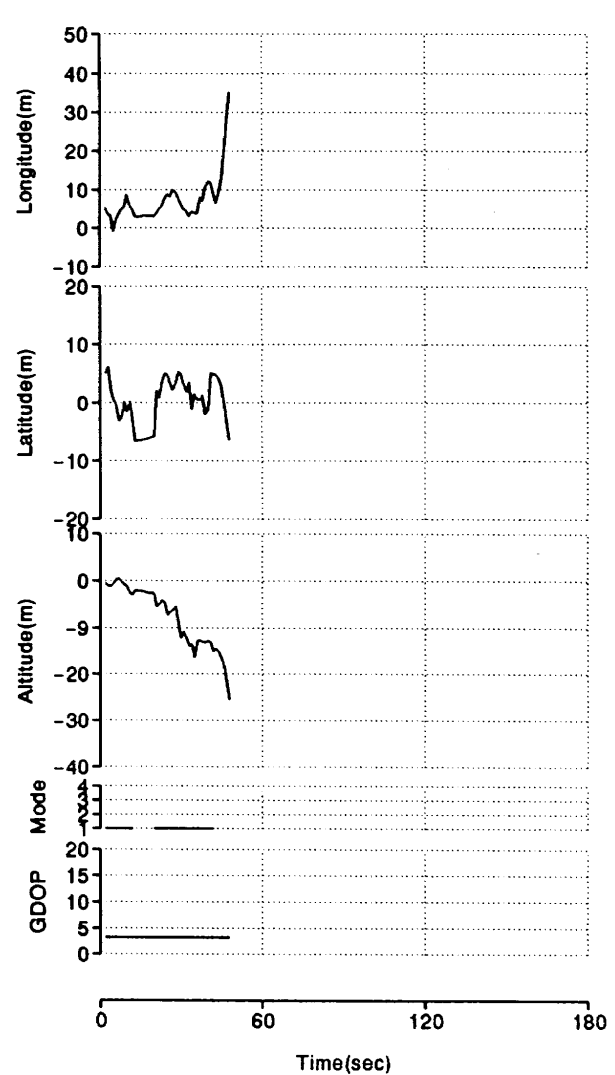
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

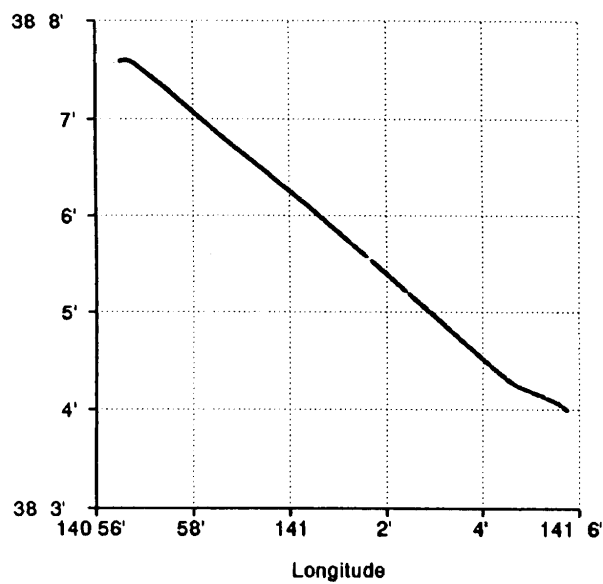


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

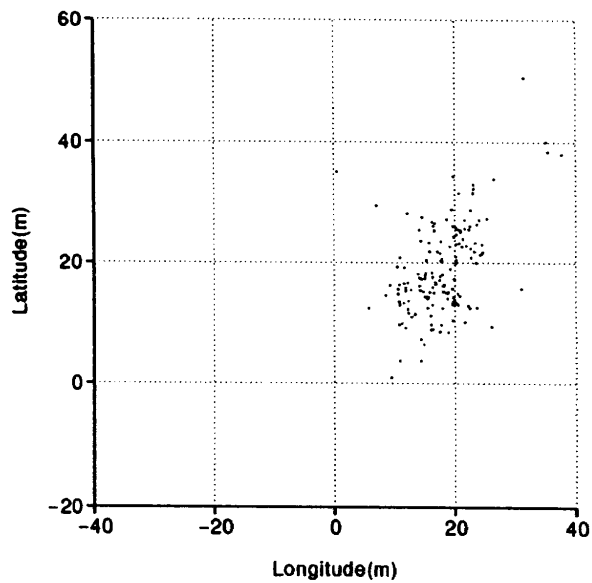


(2-b) Diff. TIME HISTORY

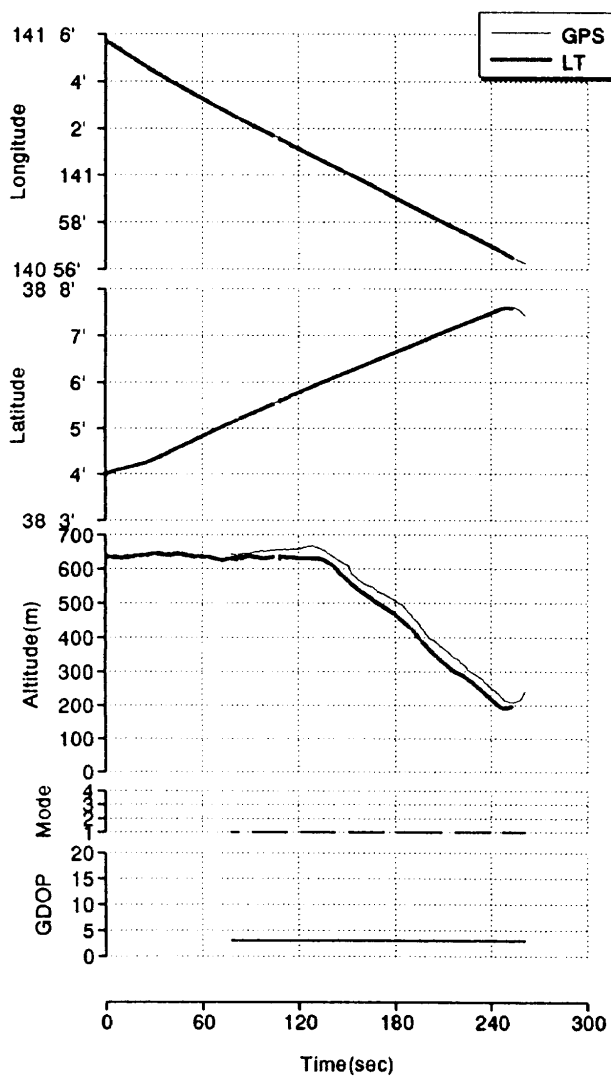
図 4.24 F08C02(S-2) 実験結果



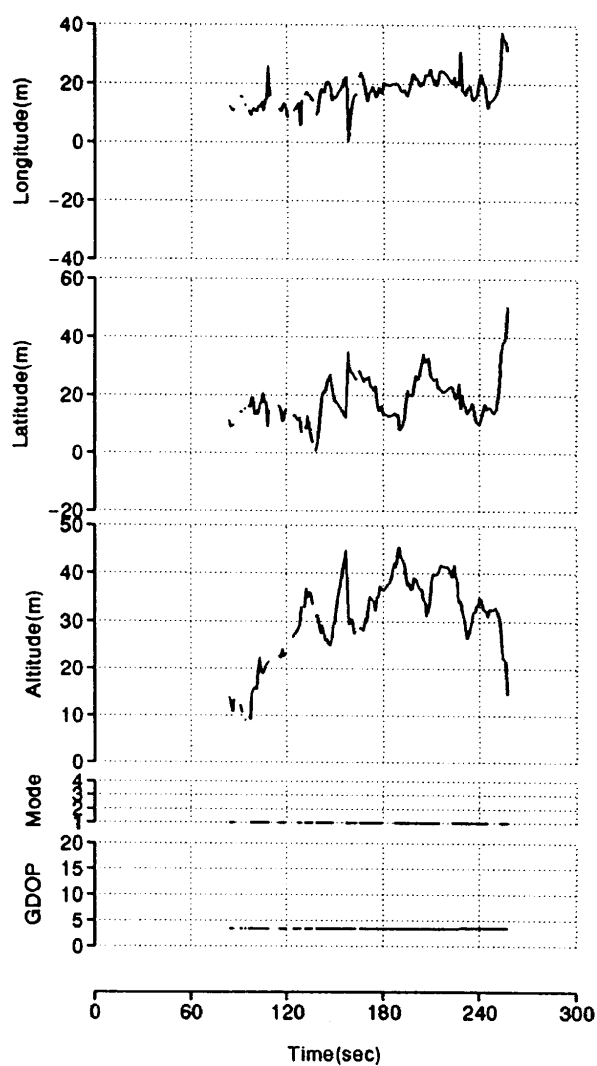
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

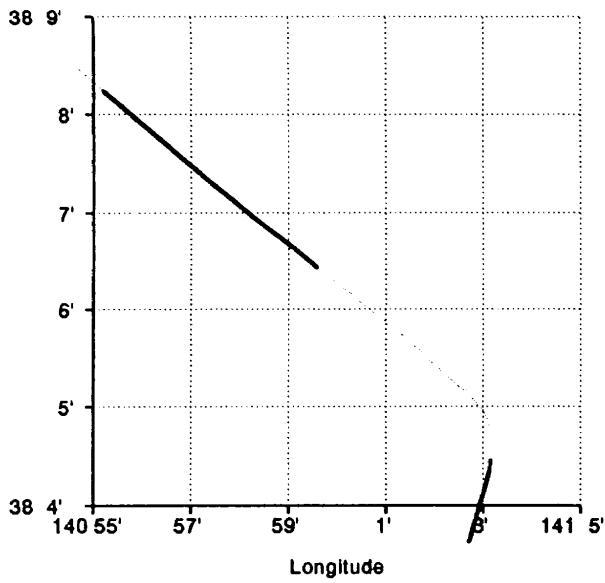


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

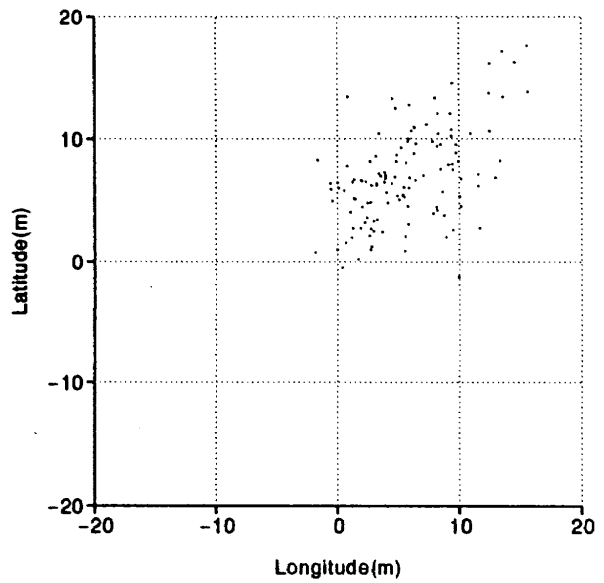


(2-b) Diff. TIME HISTORY

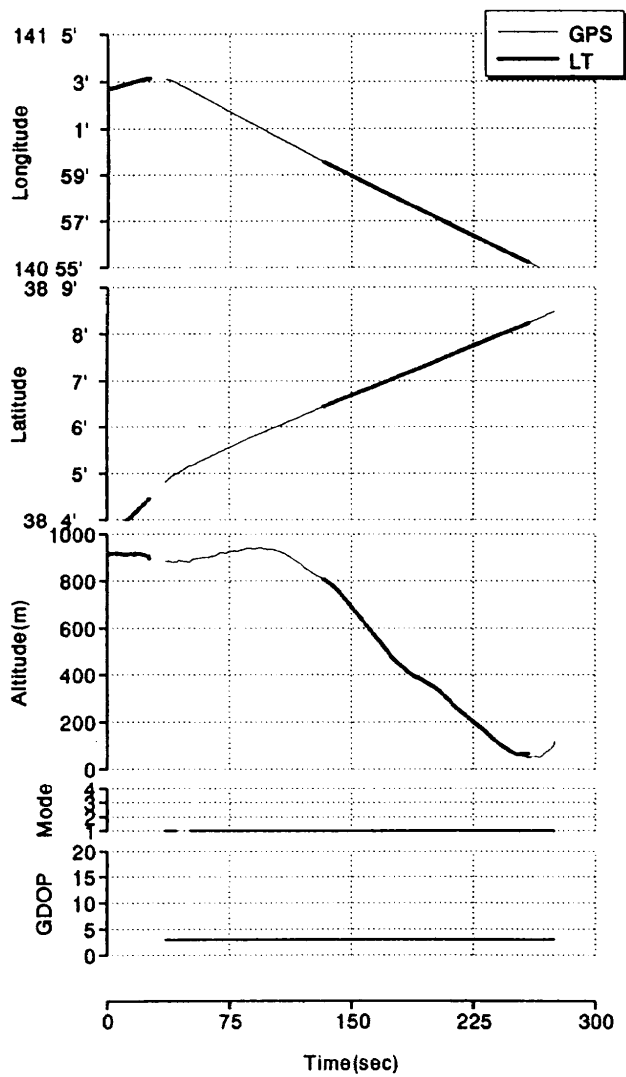
図 4.25 F08C03(A-2) 実験結果



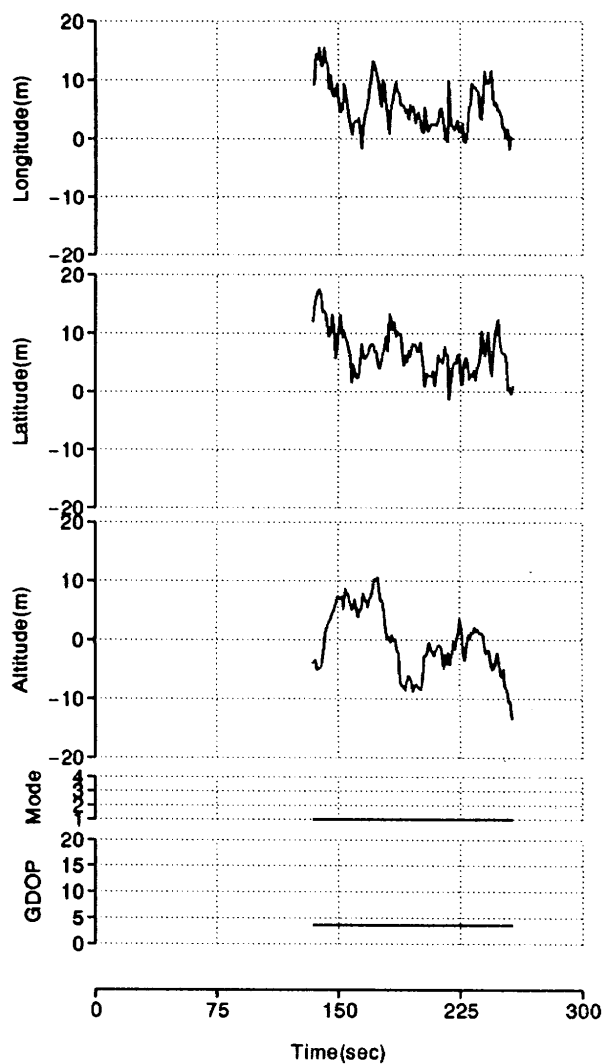
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

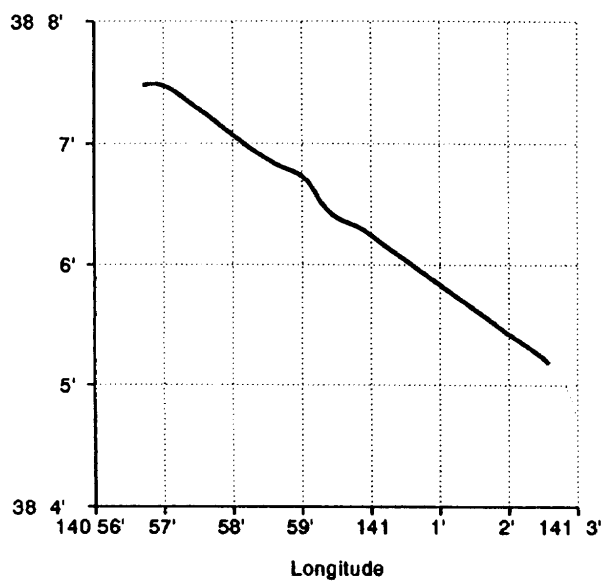


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

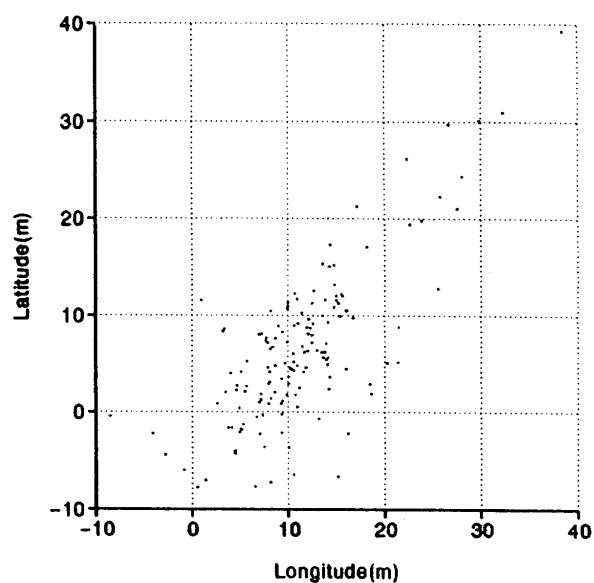


(2-b) Diff. TIME HISTORY

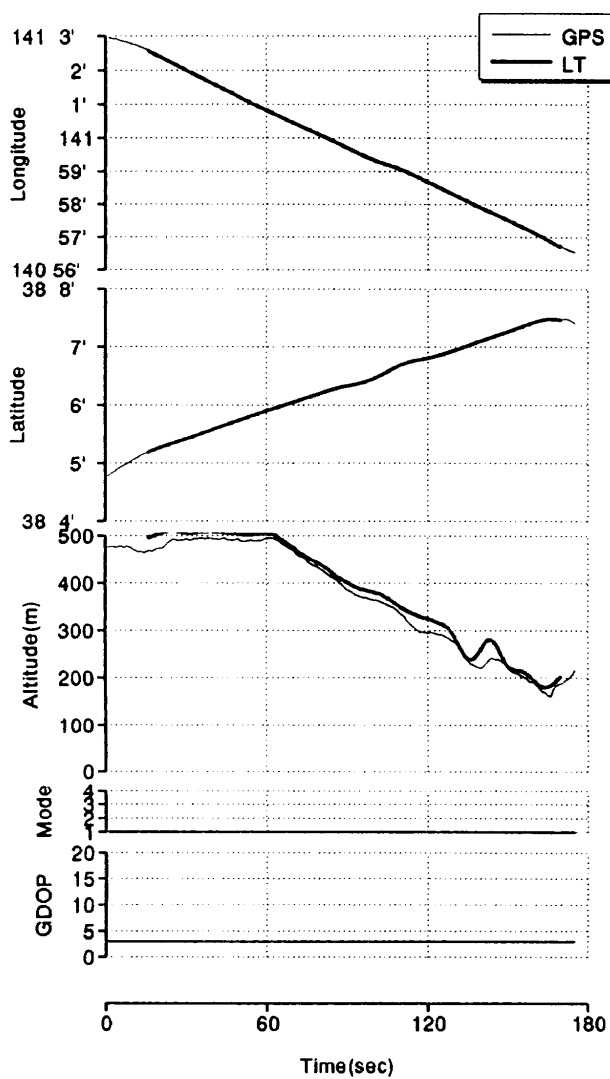
図 4.26 F08C04(A-3) 実験結果



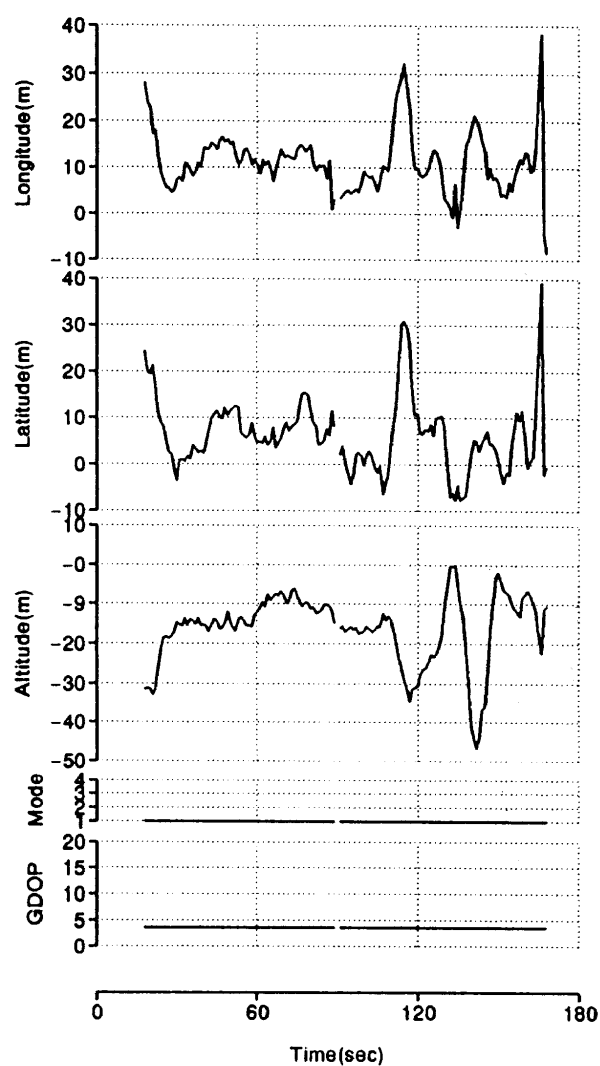
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

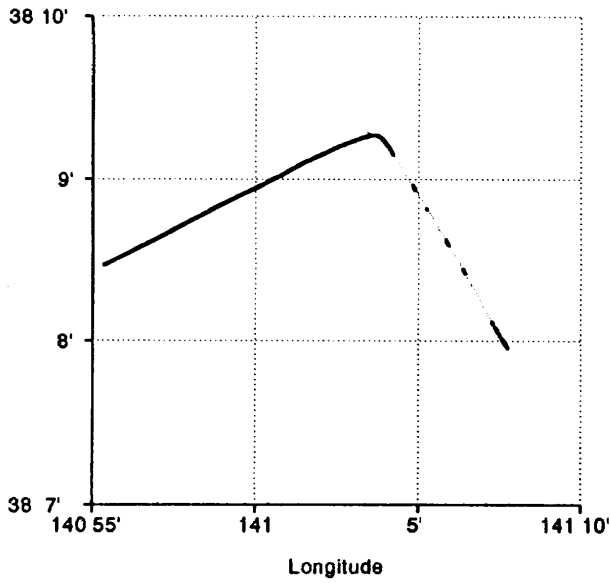


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

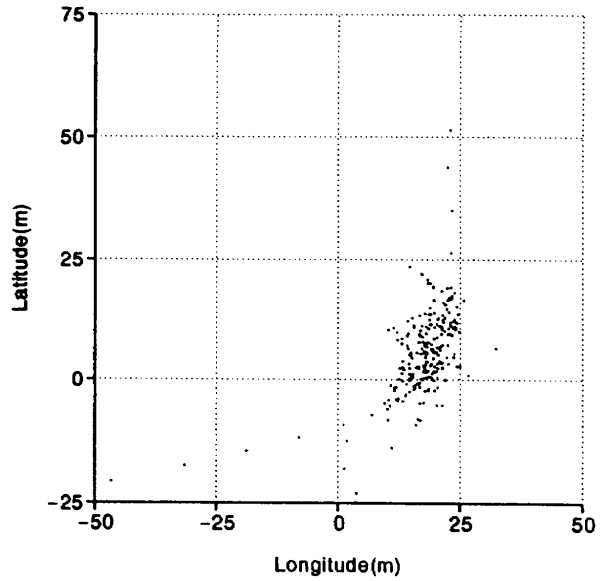


(2-b) Diff. TIME HISTORY

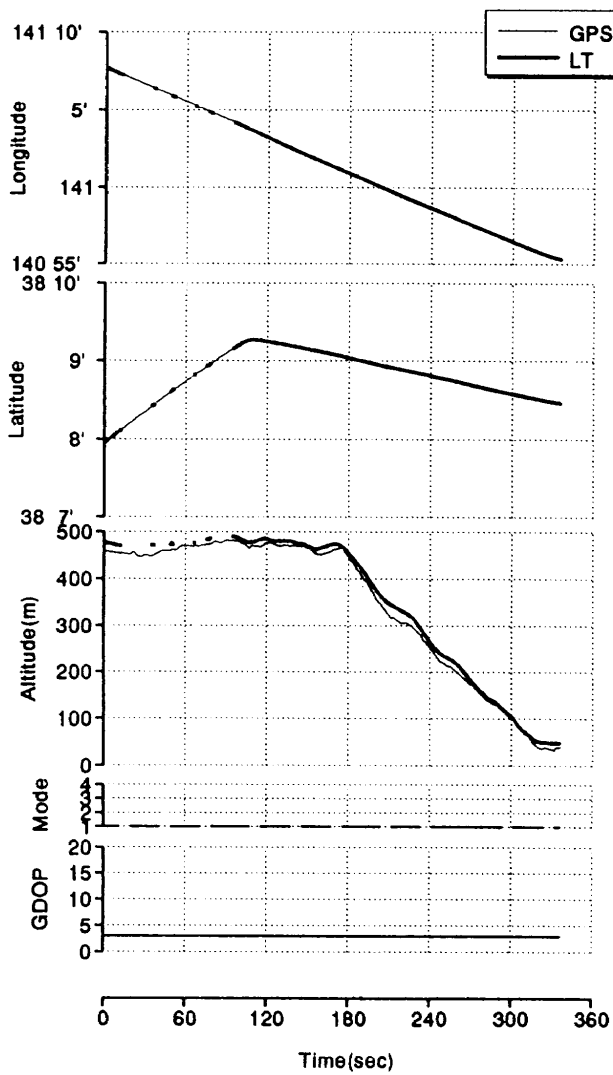
図 4.27 F08C05(SA-1) 実験結果



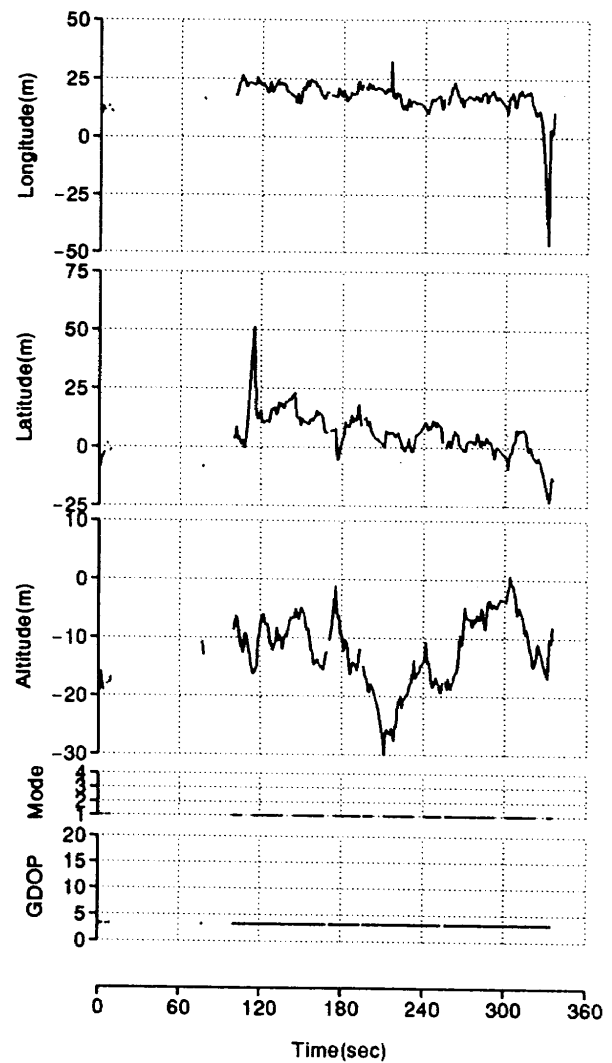
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

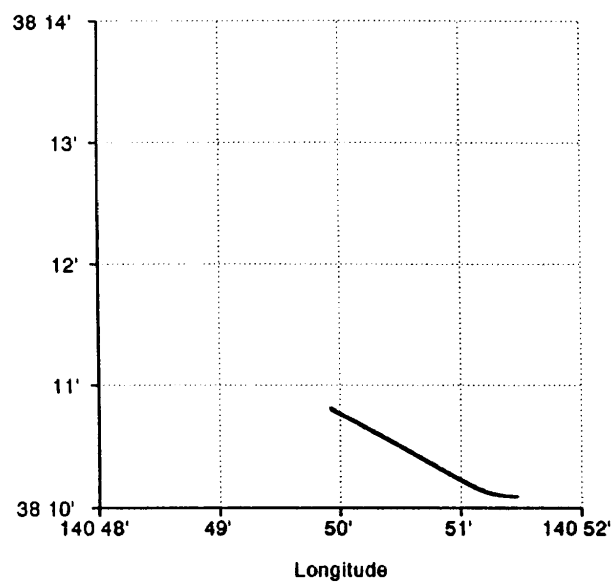


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

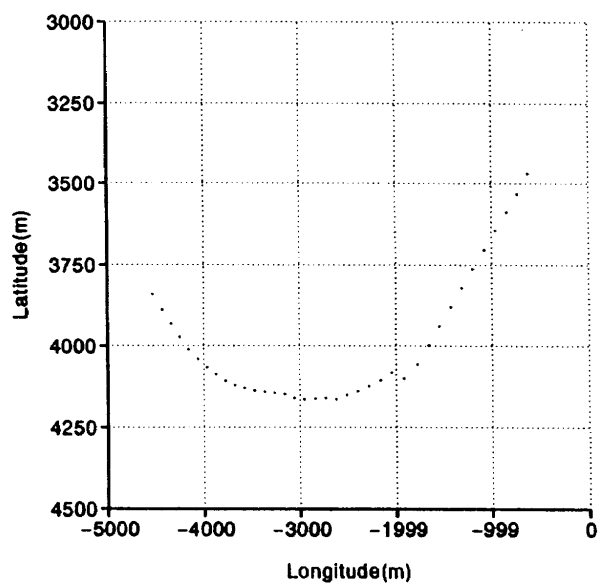


(2-b) Diff. TIME HISTORY

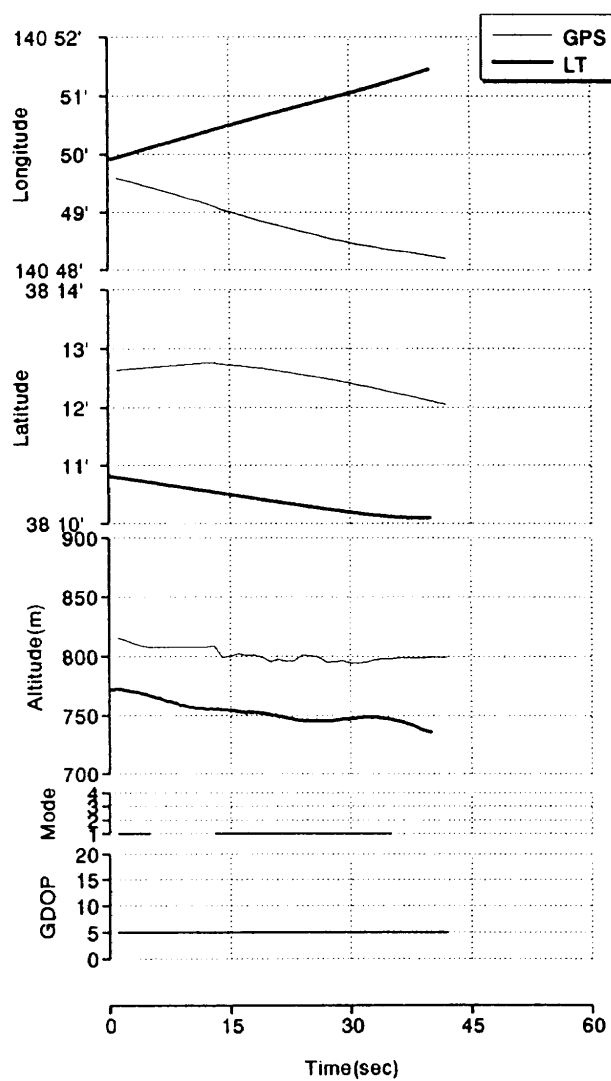
図 4.28 F08C06(SA-6) 実験結果



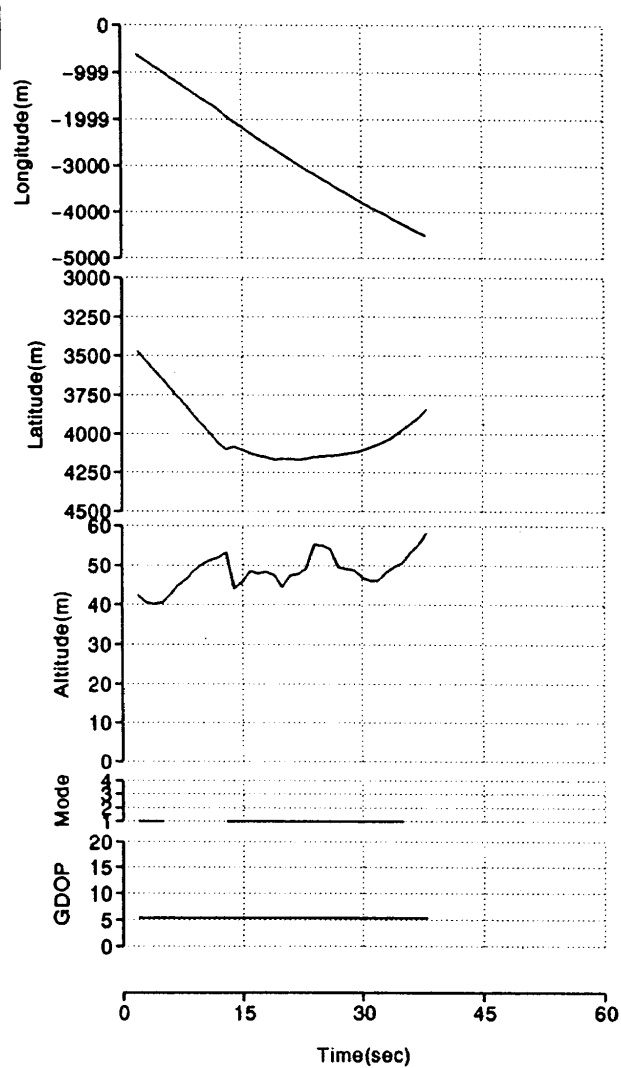
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

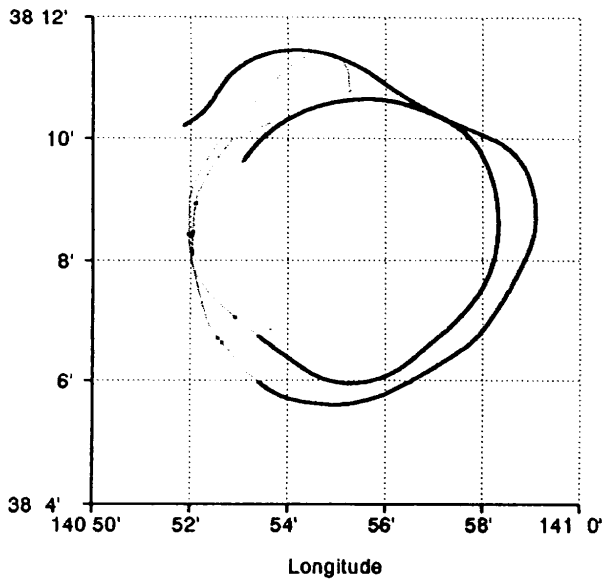


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

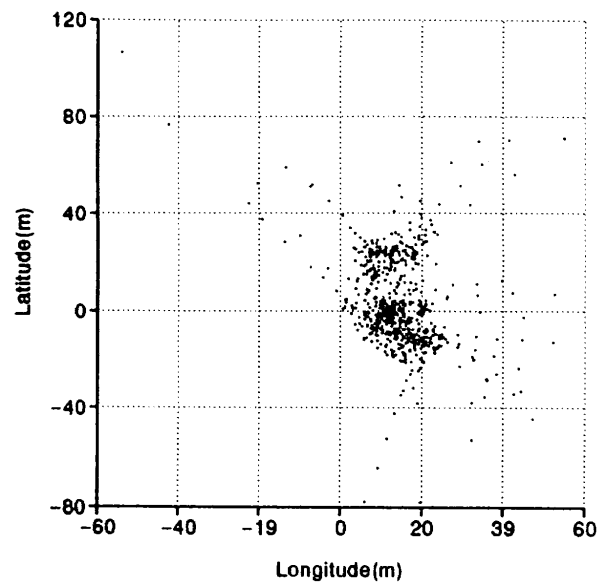


(2-b) Diff. TIME HISTORY

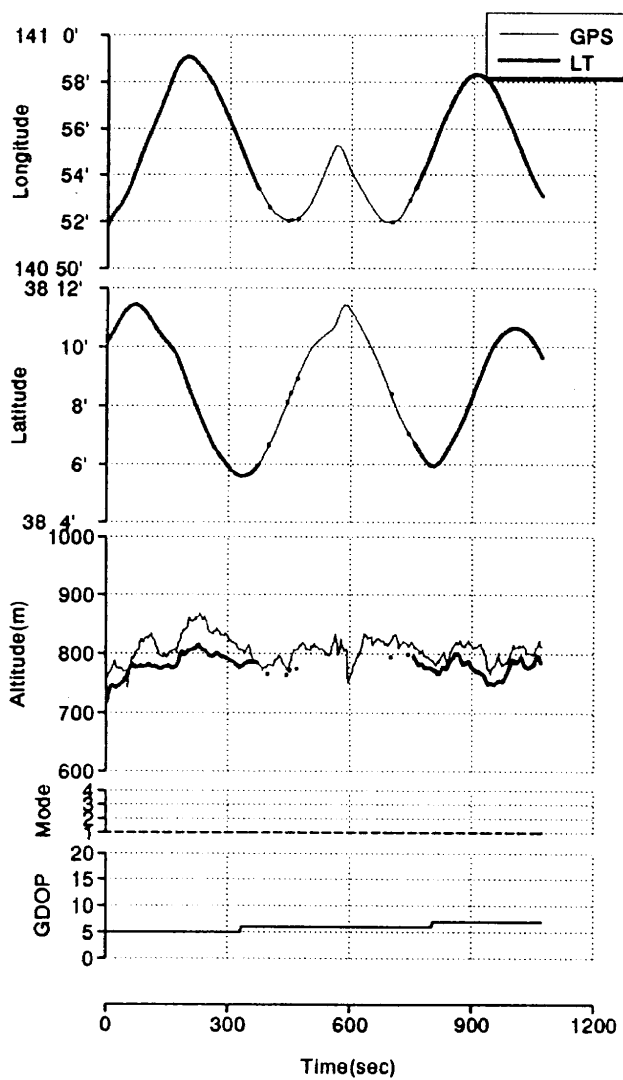
図 4.29 F09C01A(S-3) 実験結果



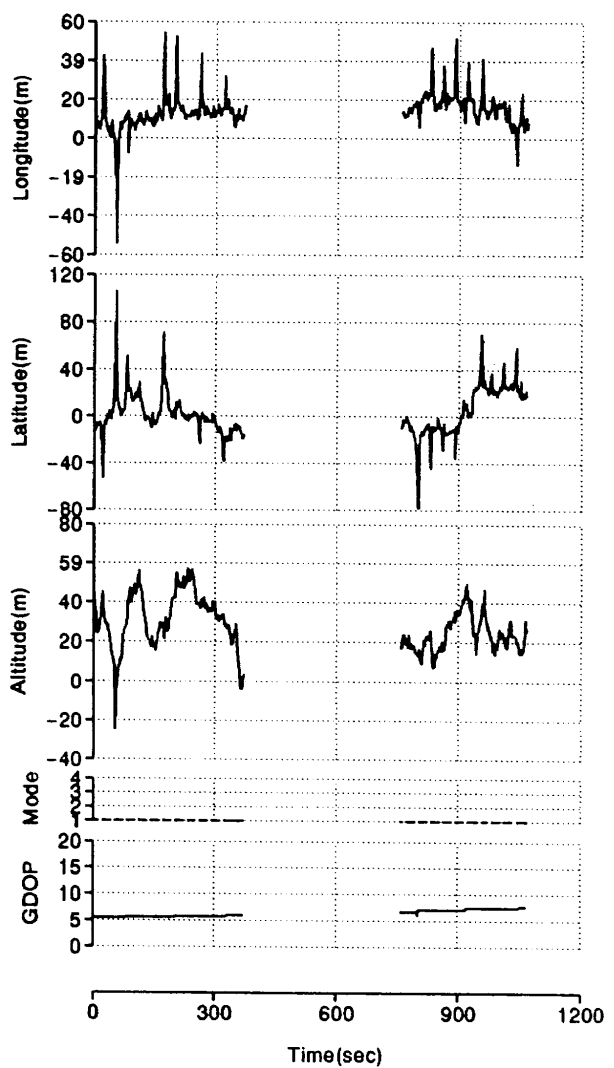
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

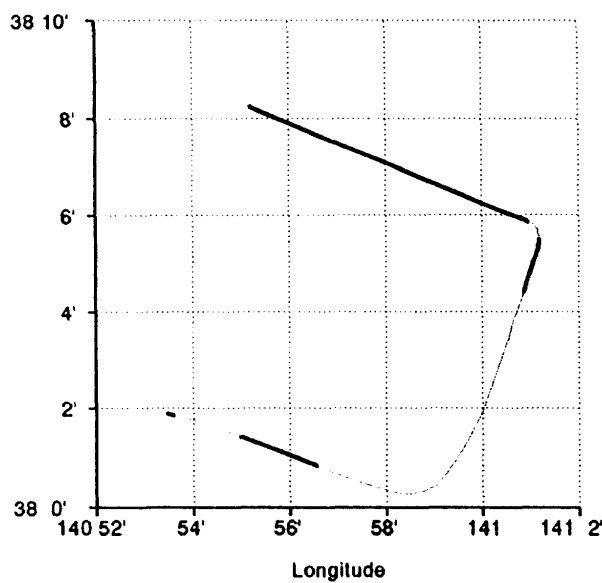


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

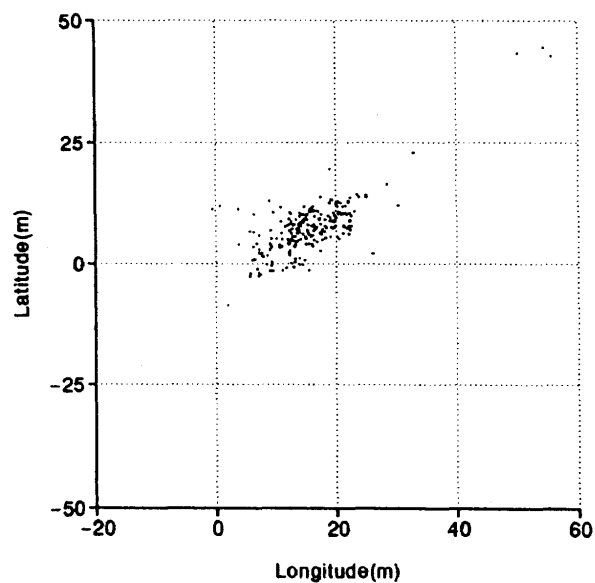


(2-b) Diff. TIME HISTORY

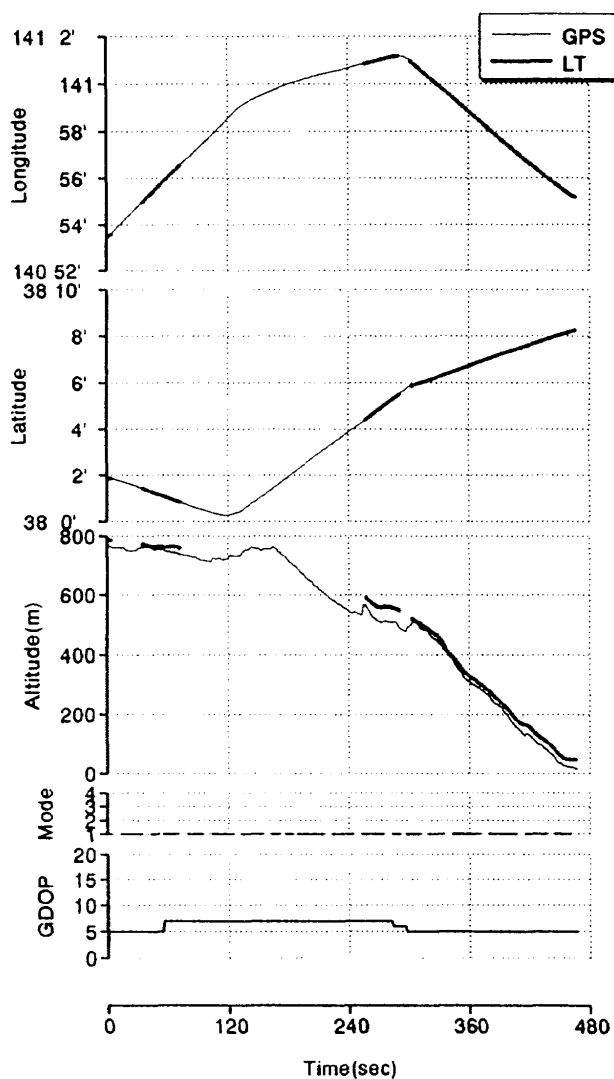
図 4.30 F09C01B(O-1) 実験結果



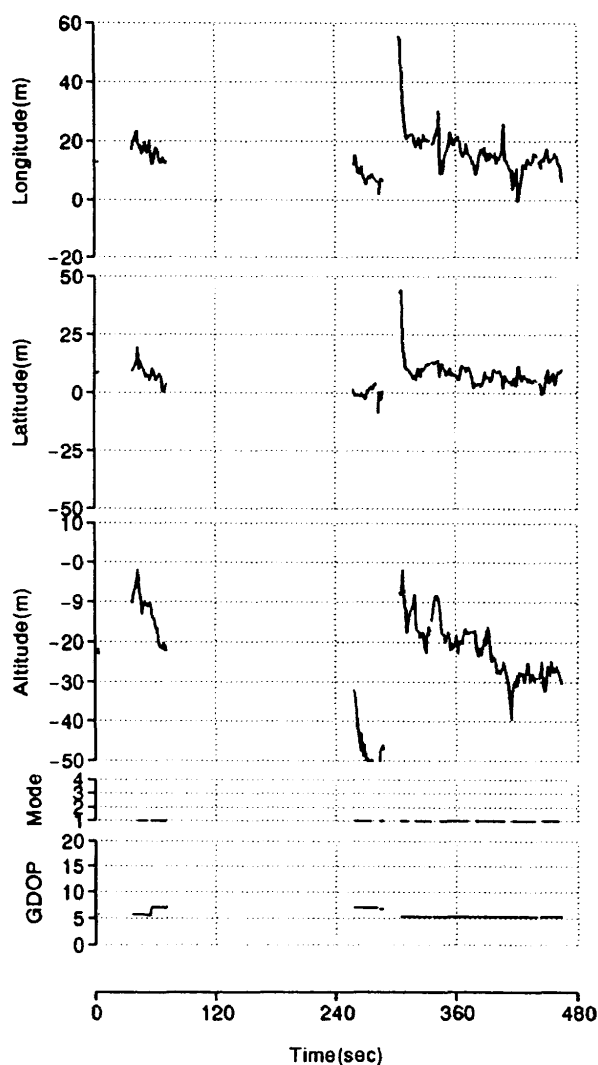
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

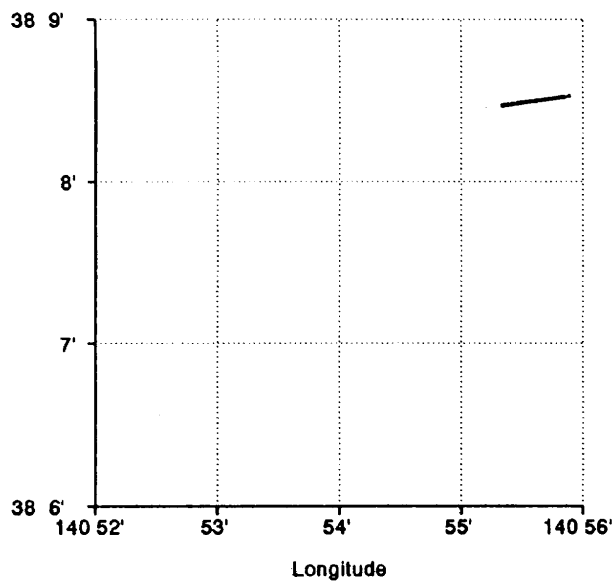


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

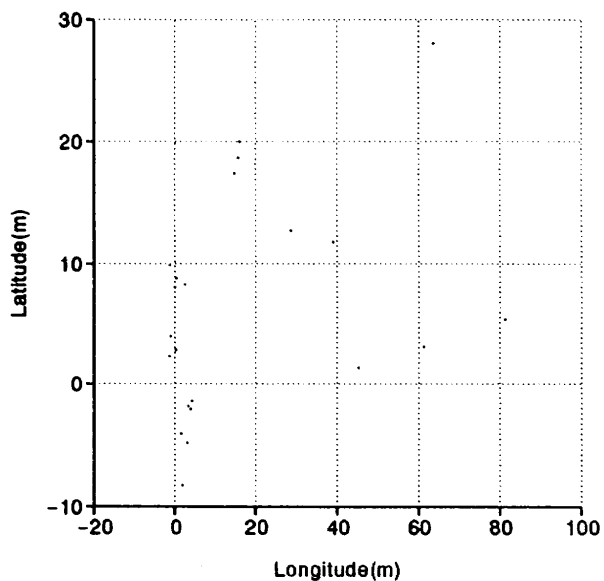


(2-b) Diff. TIME HISTORY

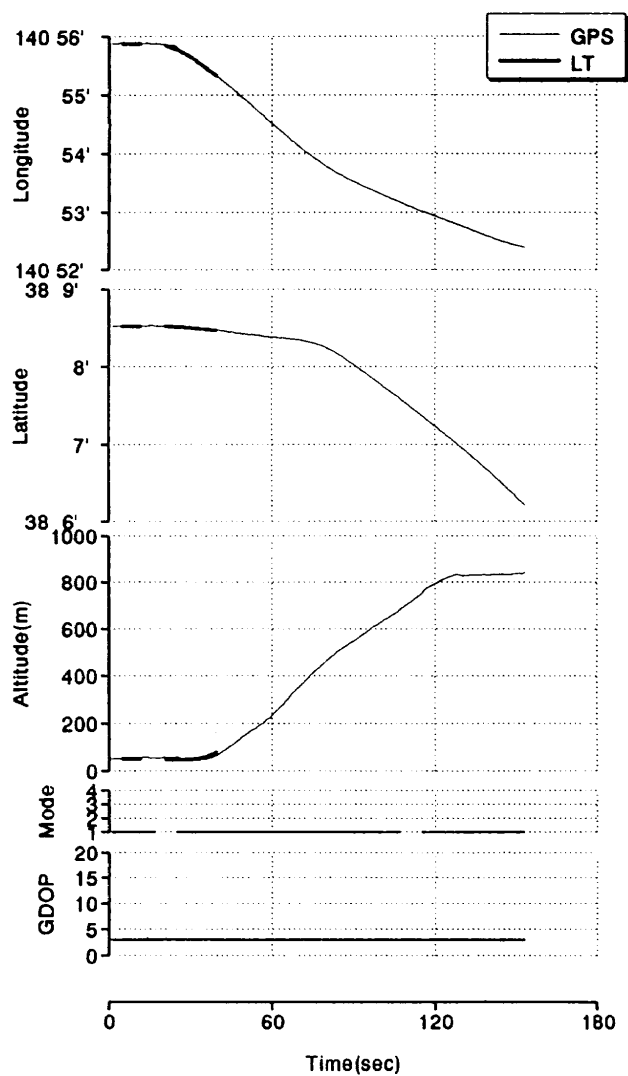
図 4.31 F09C01C(SA-5) 実験結果



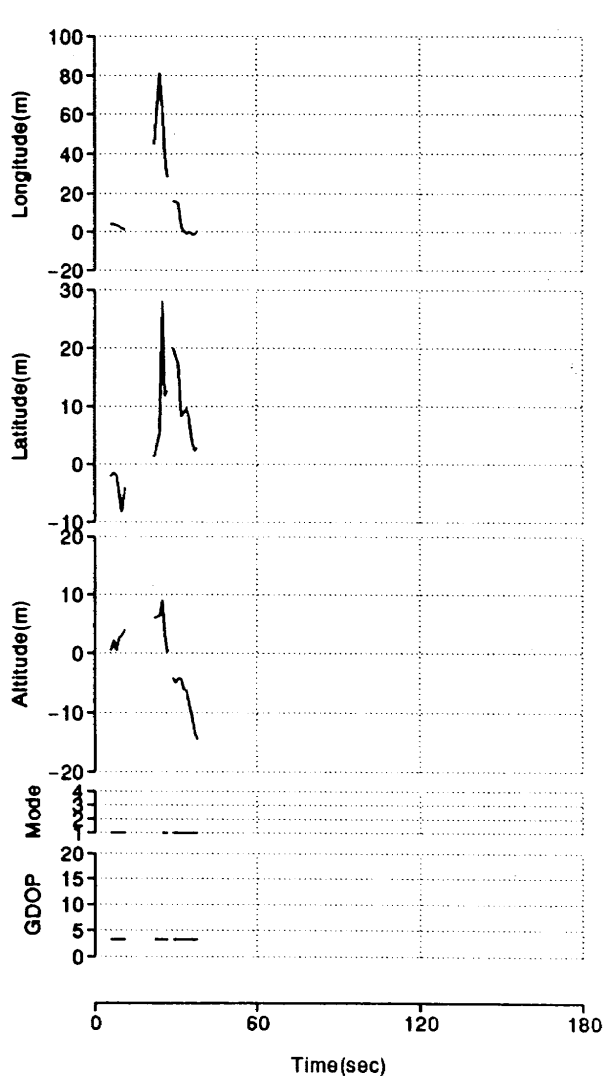
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

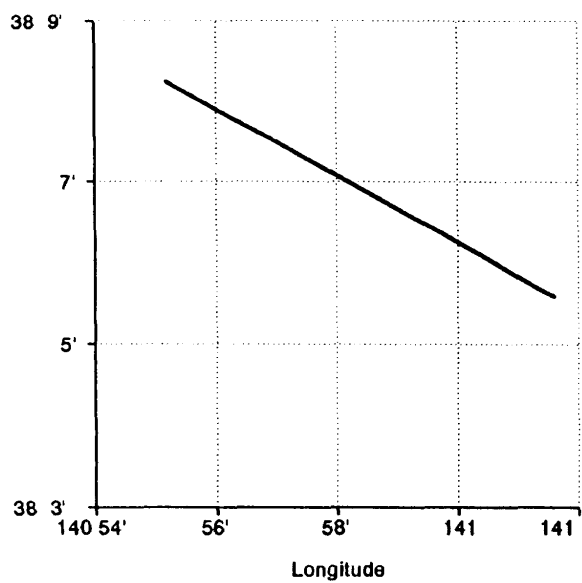


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

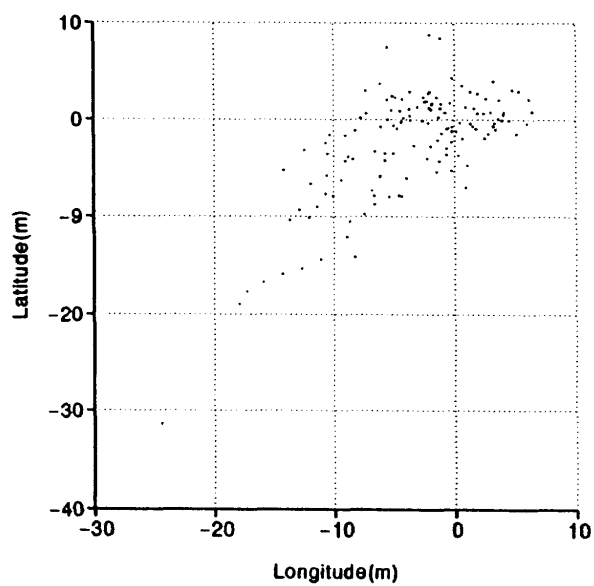


(2-b) Diff. TIME HISTORY

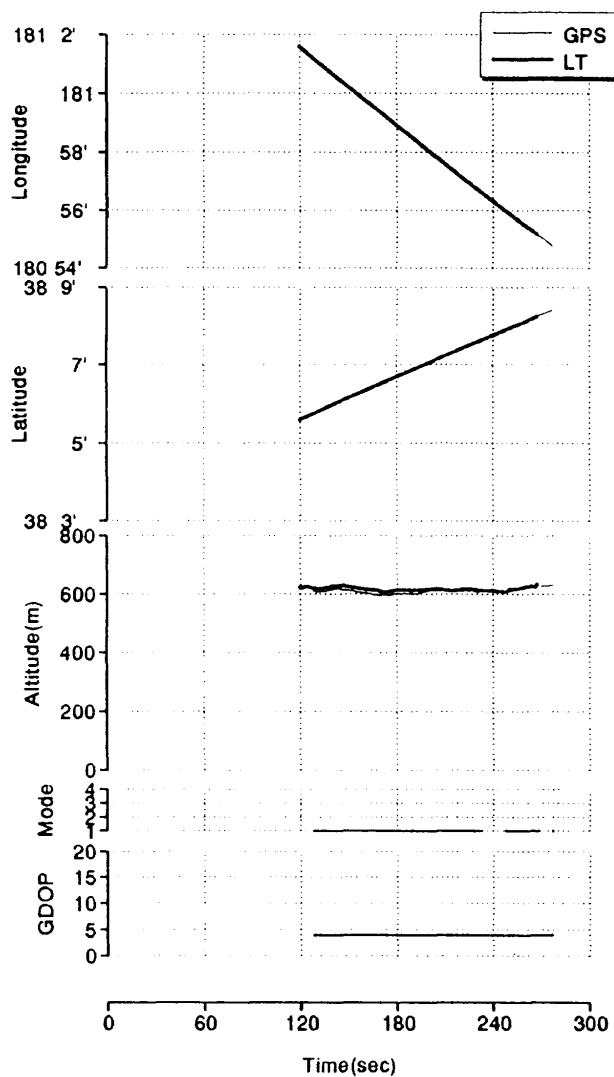
図 4.32 F10C02(S-2) 実験結果



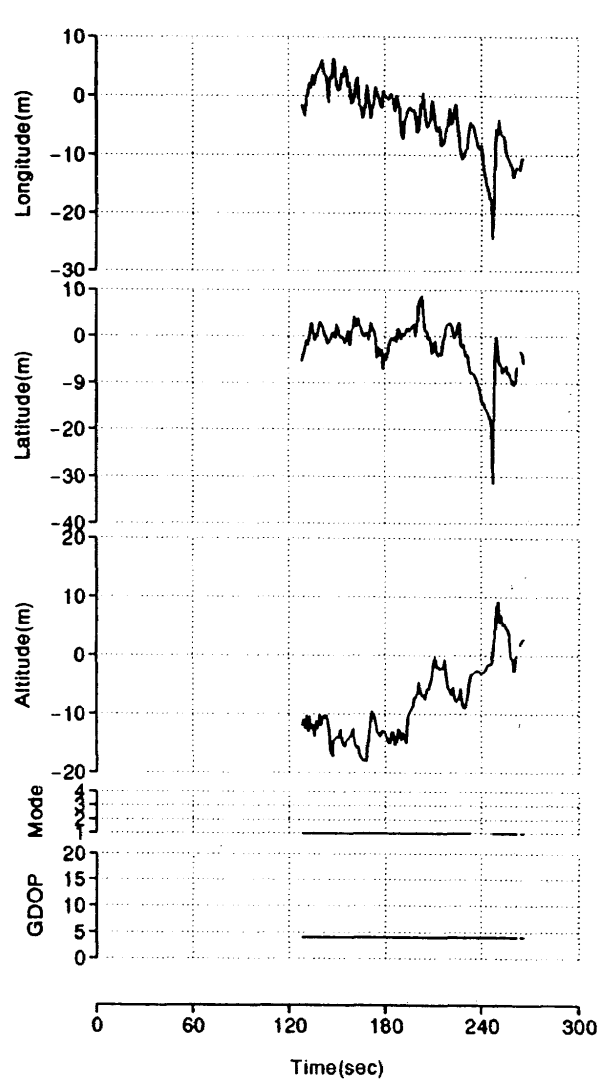
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

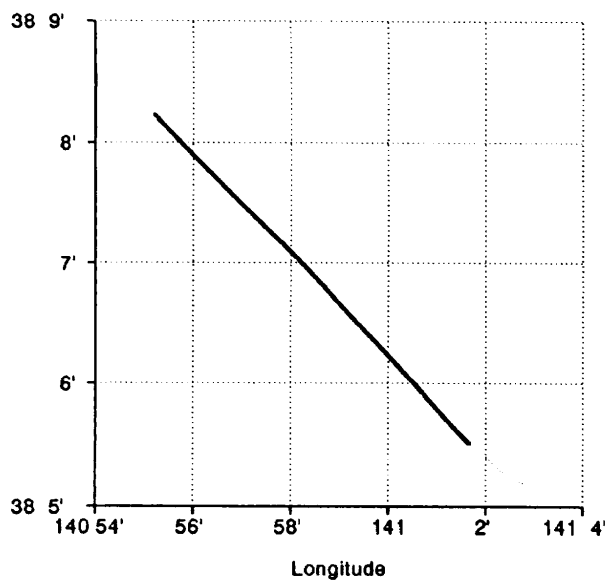


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

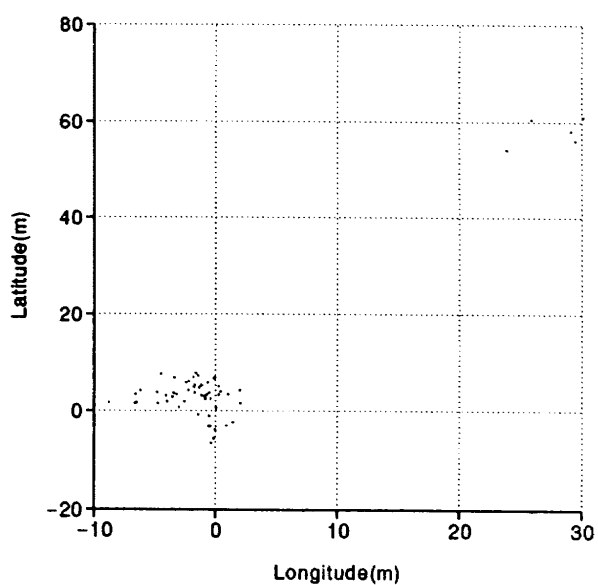


(2-b) Diff. TIME HISTORY

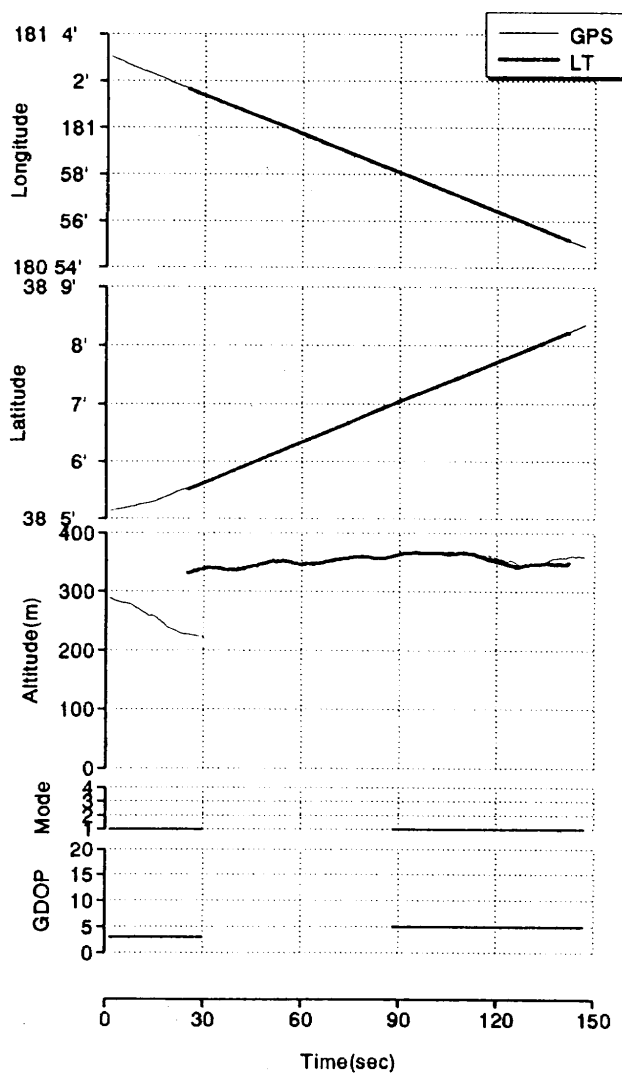
図 4.33 F10C03(L-1) 実験結果



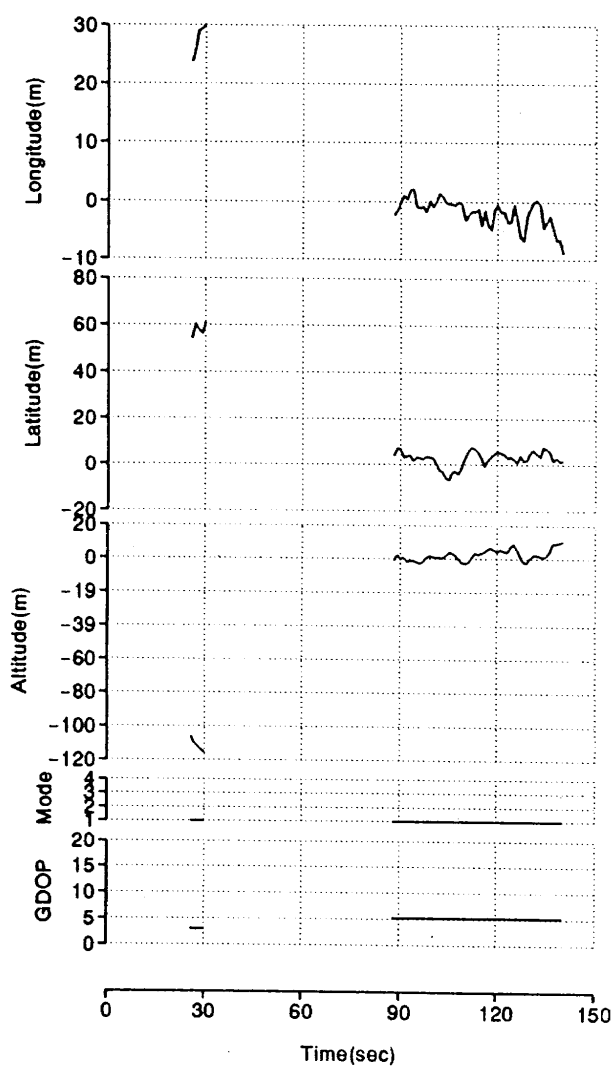
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

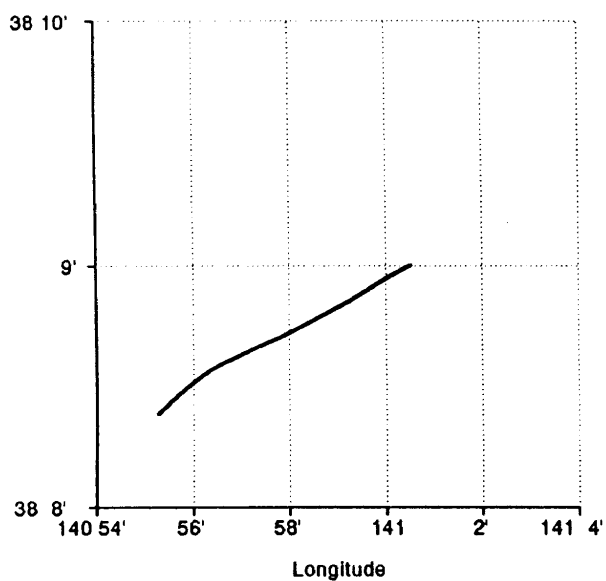


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

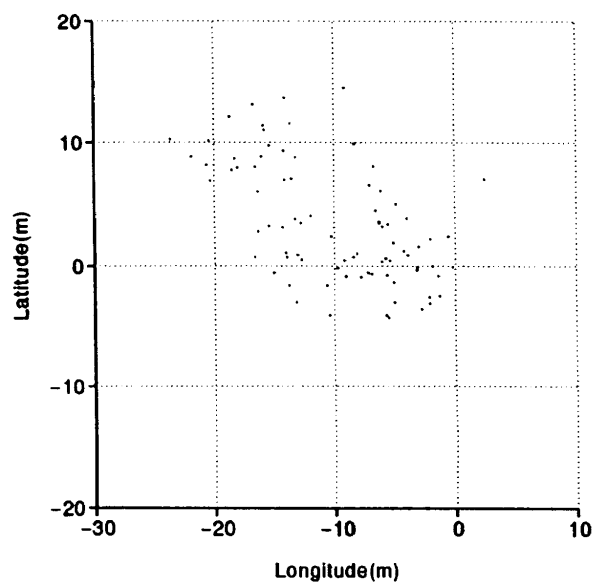


(2-b) Diff. TIME HISTORY

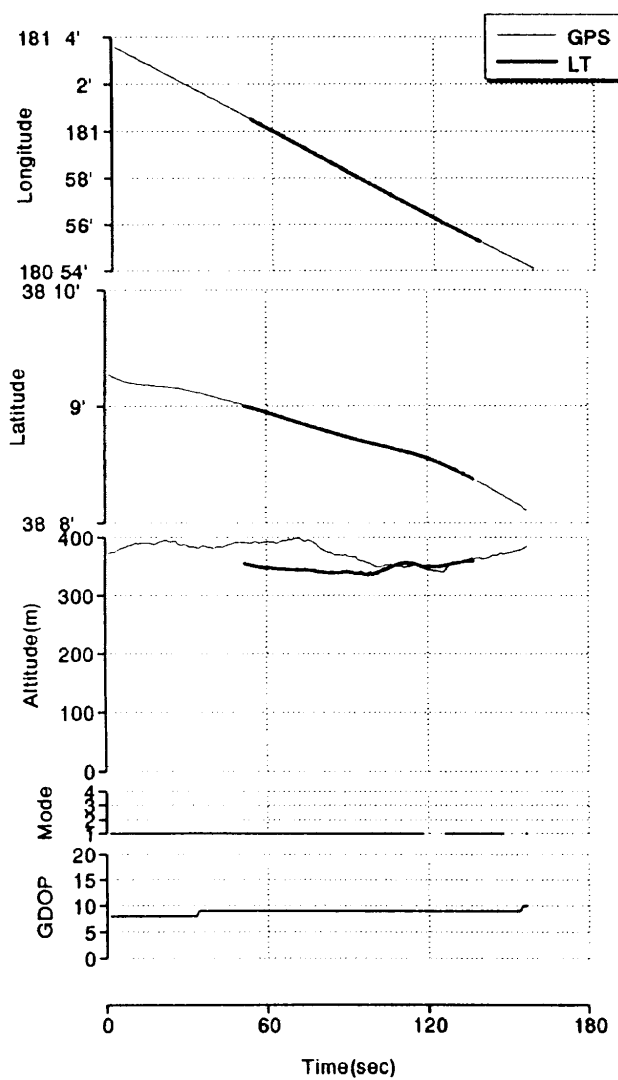
図 4.34 F10C04(L-3) 実験結果



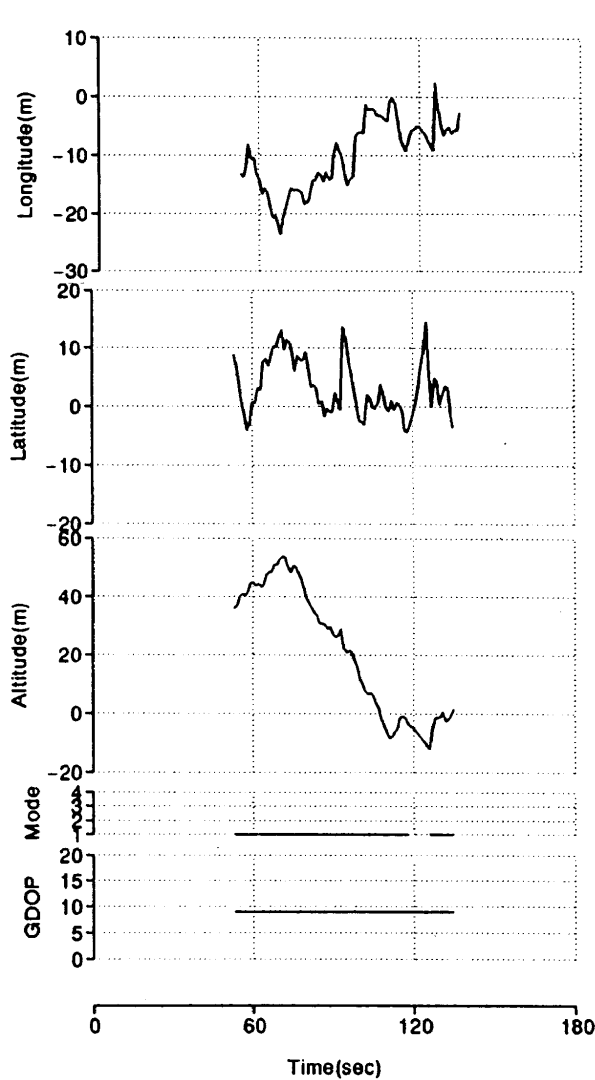
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

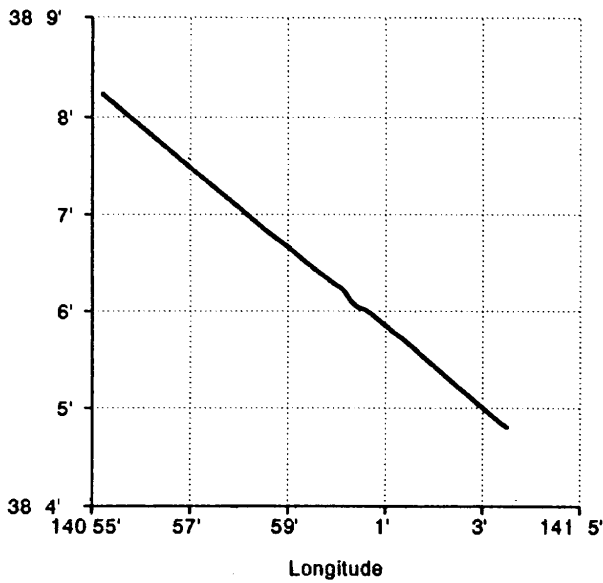


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

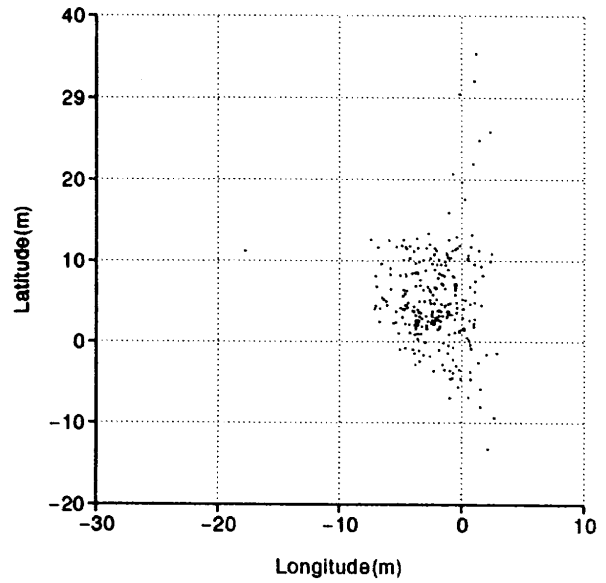


(2-b) Diff. TIME HISTORY

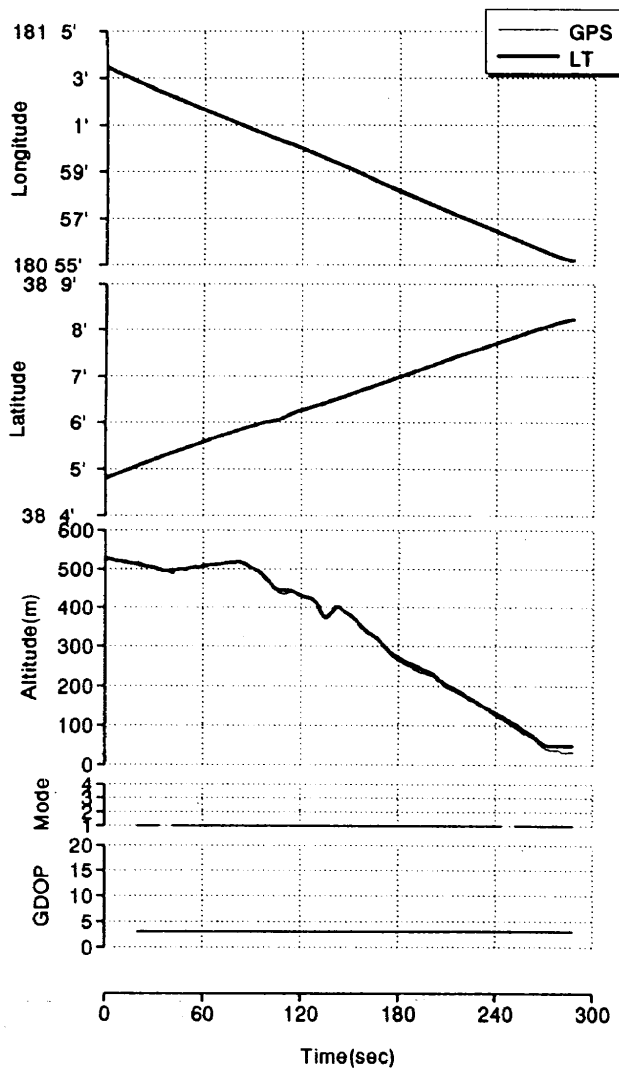
図 4.35 F10C05(SL-2) 実験結果



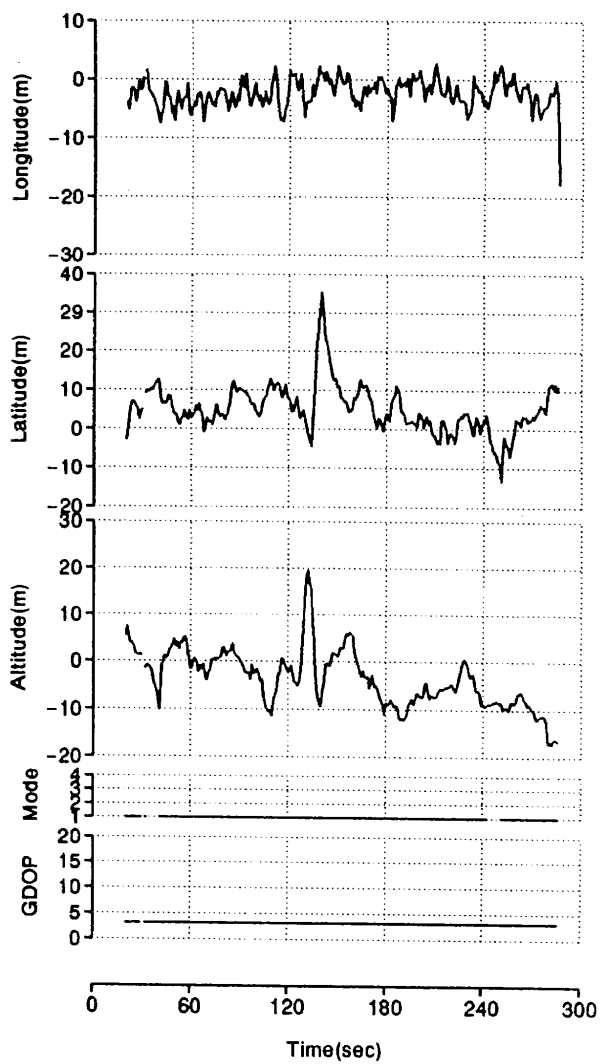
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

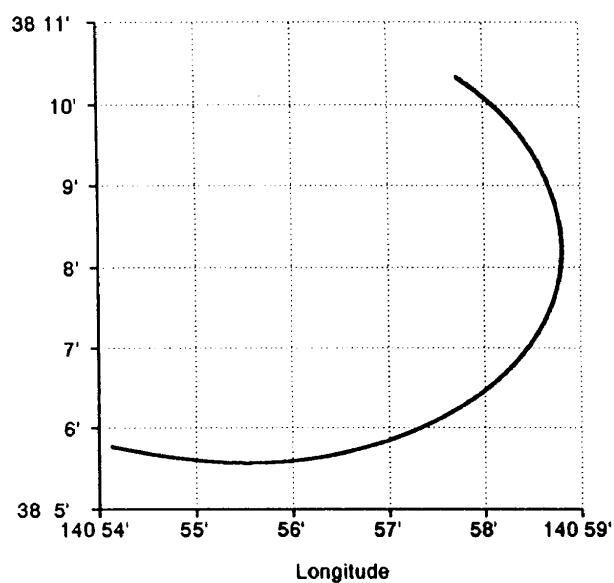


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

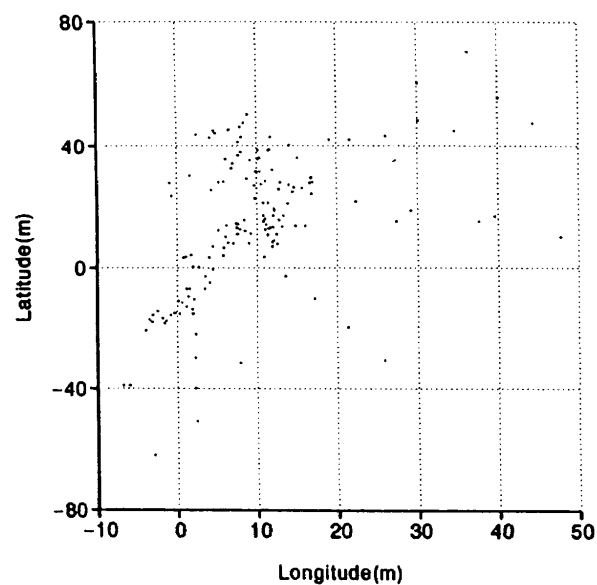


(2-b) Diff. TIME HISTORY

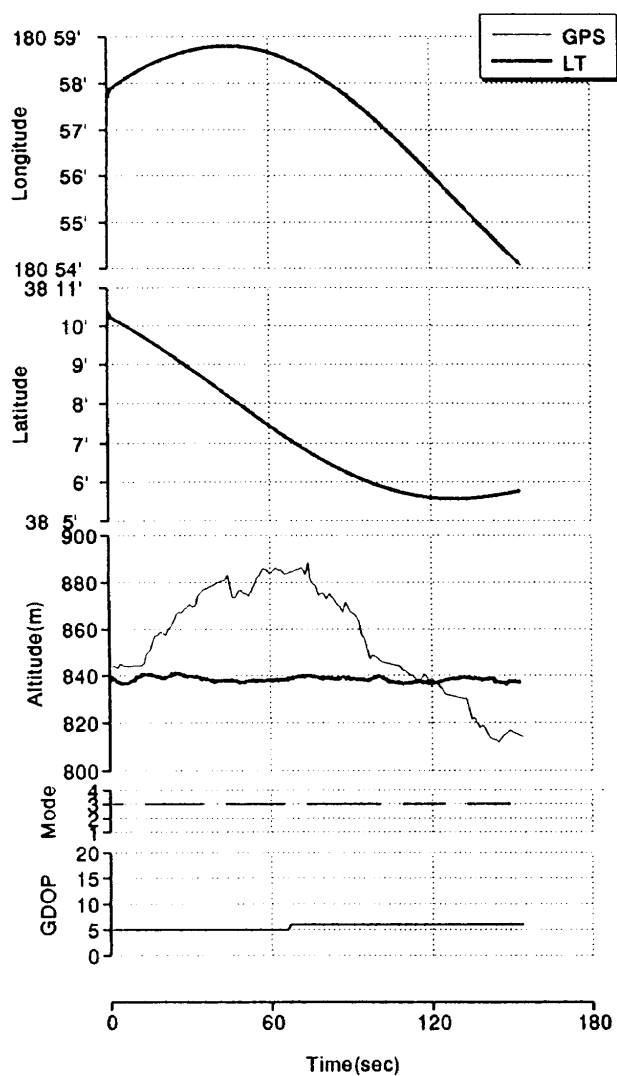
図 4.36 F10C06(SA-1) 実験結果



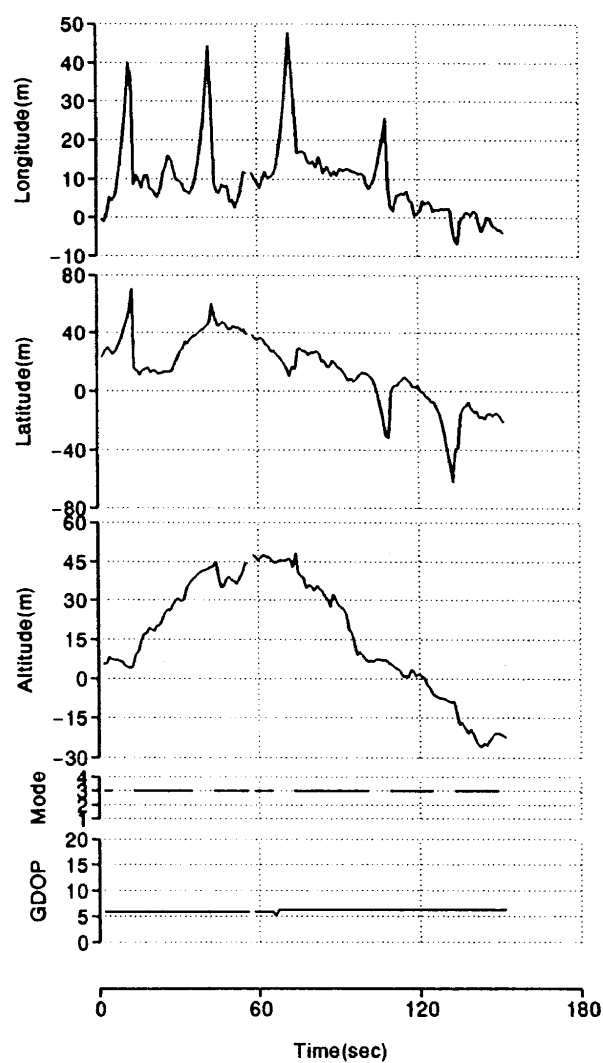
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

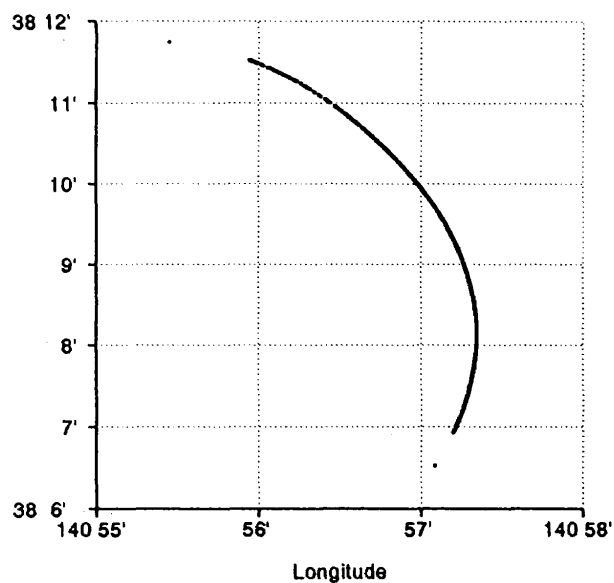


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

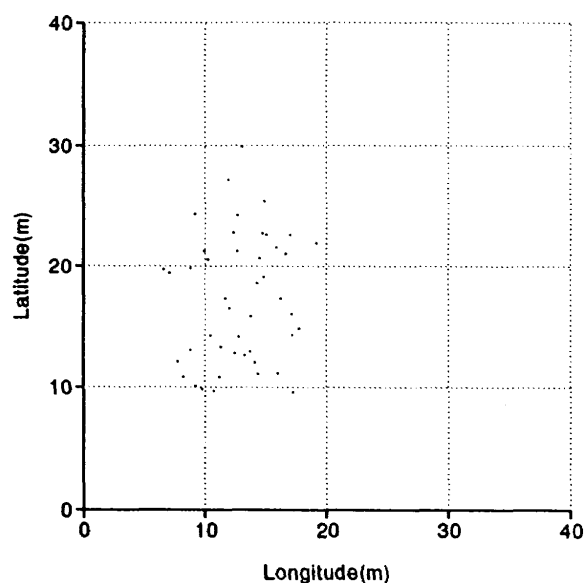


(2-b) Diff. TIME HISTORY

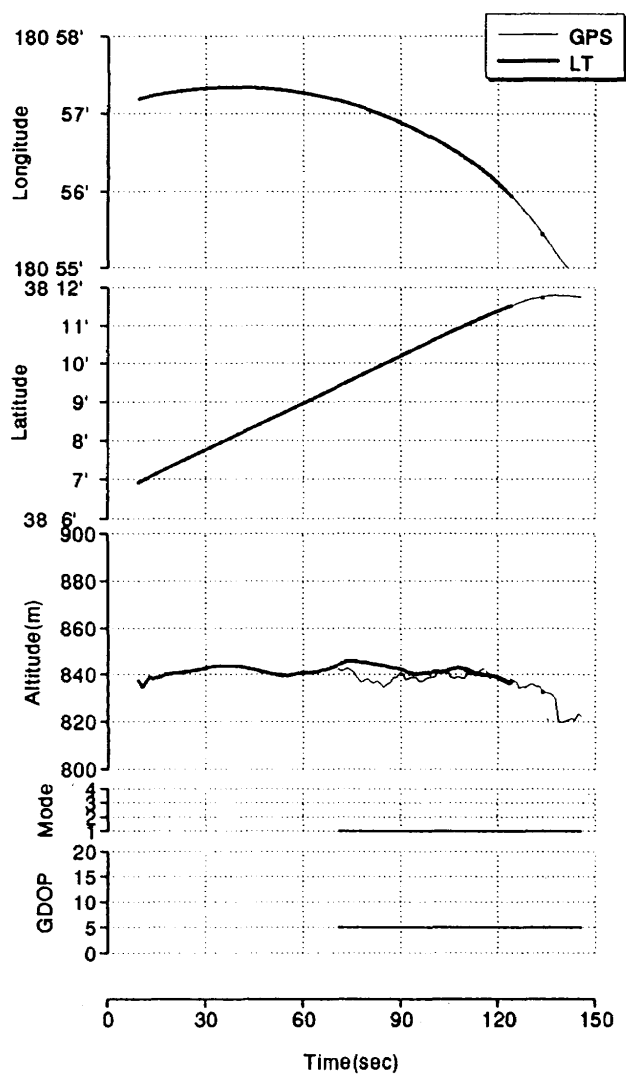
図 4.37 F11C01A (O-2) 実験結果



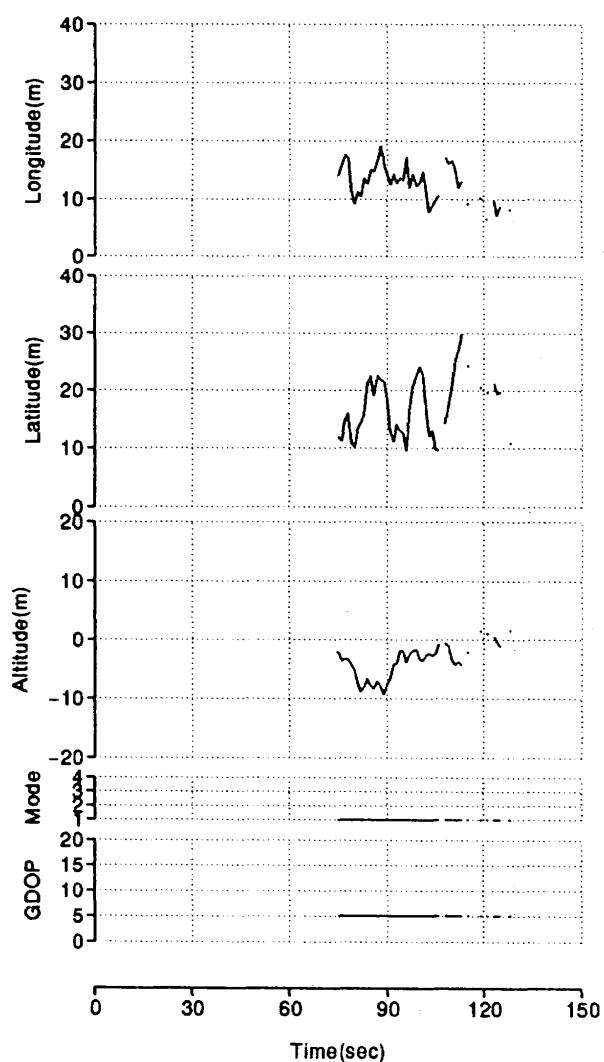
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

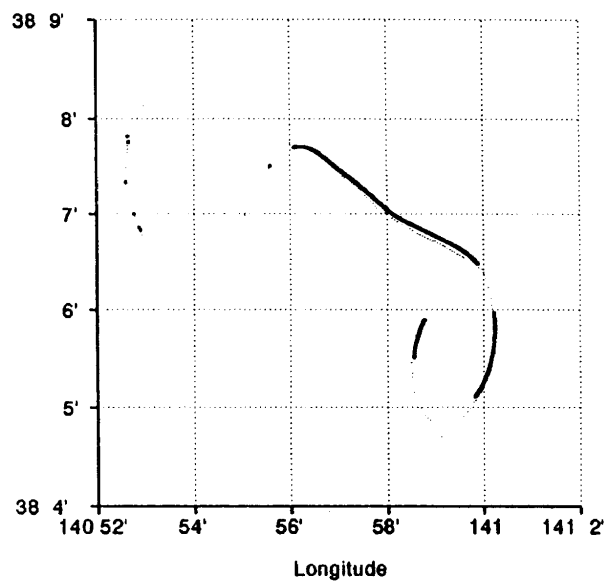


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

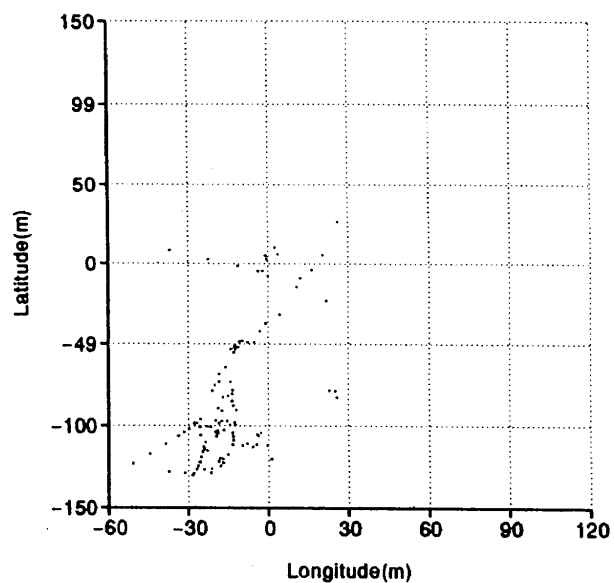


(2-b) Diff. TIME HISTORY

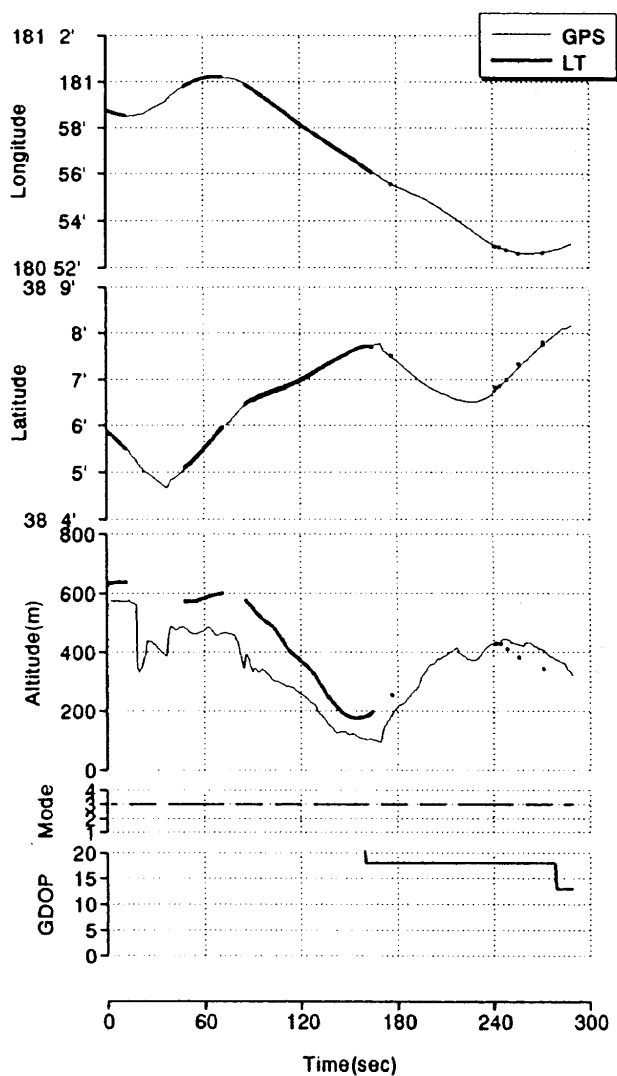
図 4.38 F11C01B(O-2) 実験結果



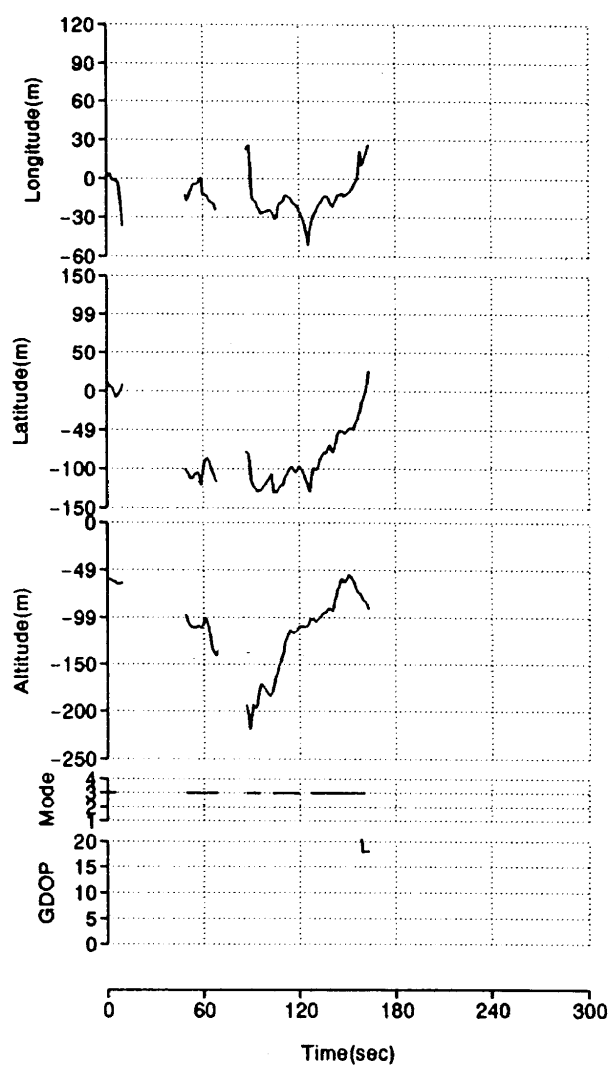
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

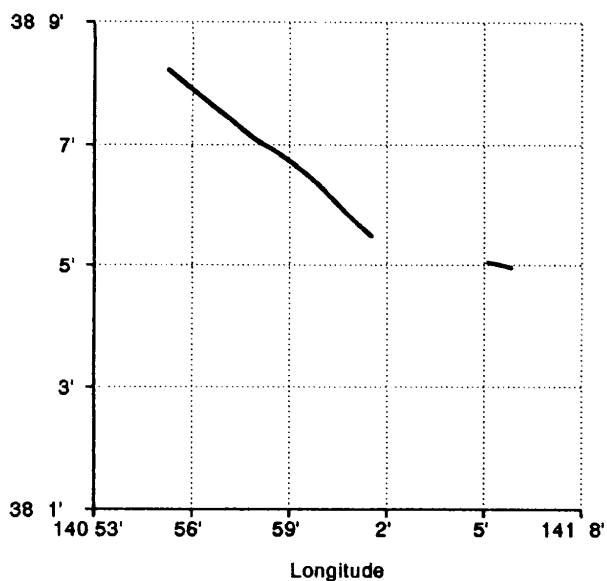


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

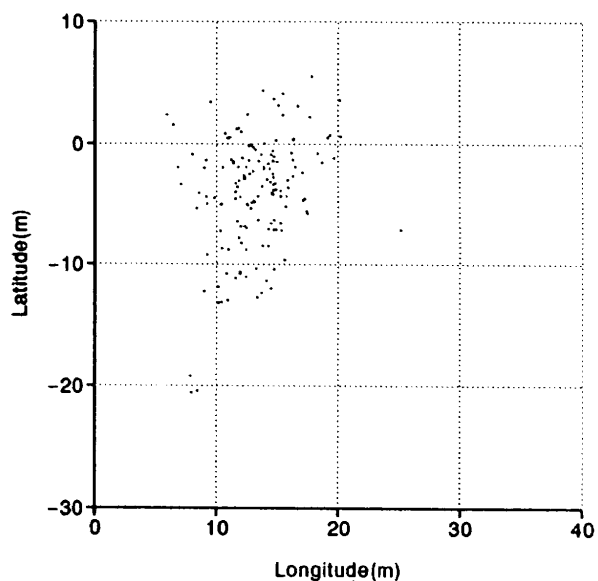


(2-b) Diff. TIME HISTORY

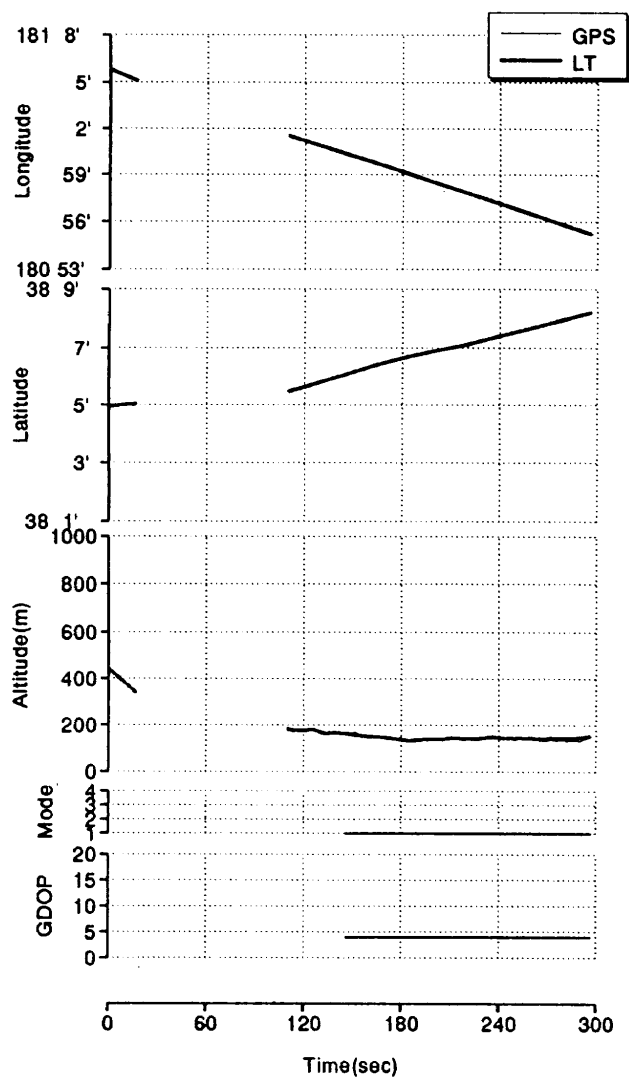
図 4.39 F11C01C(SA-4) 実験結果



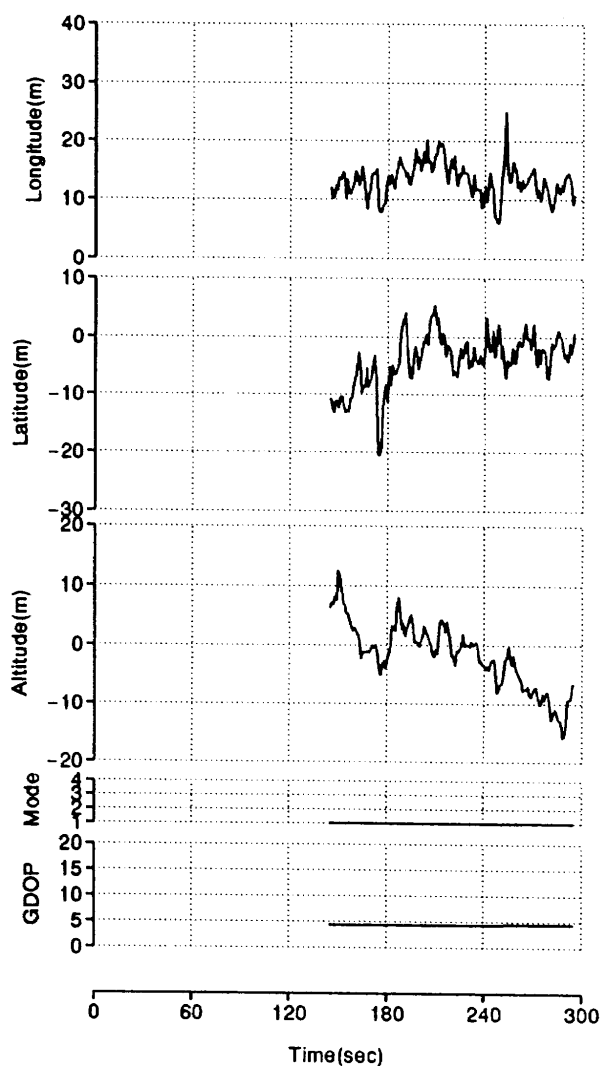
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

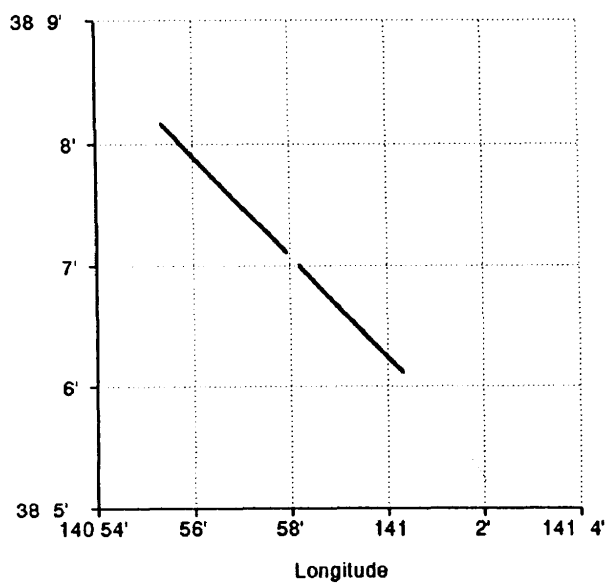


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

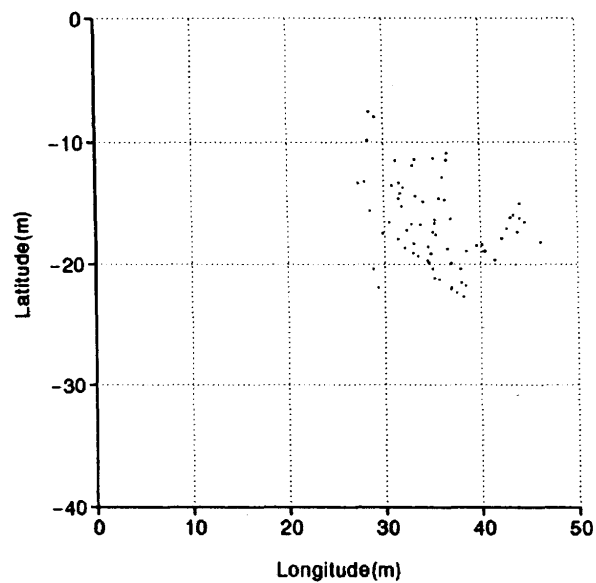


(2-b) Diff. TIME HISTORY

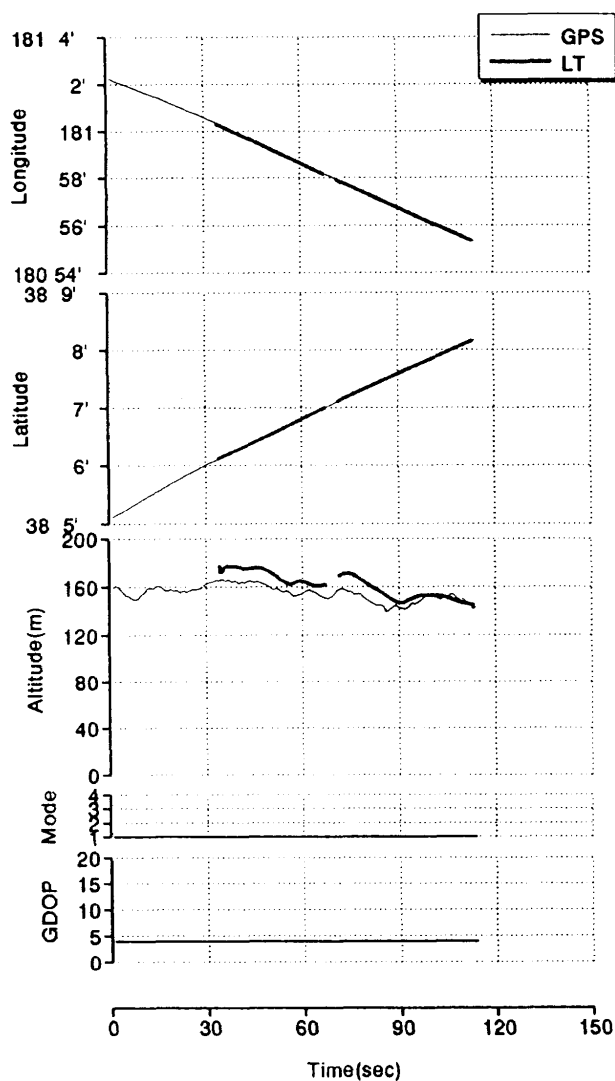
図 4.40 F12C03(L-4) 実験結果



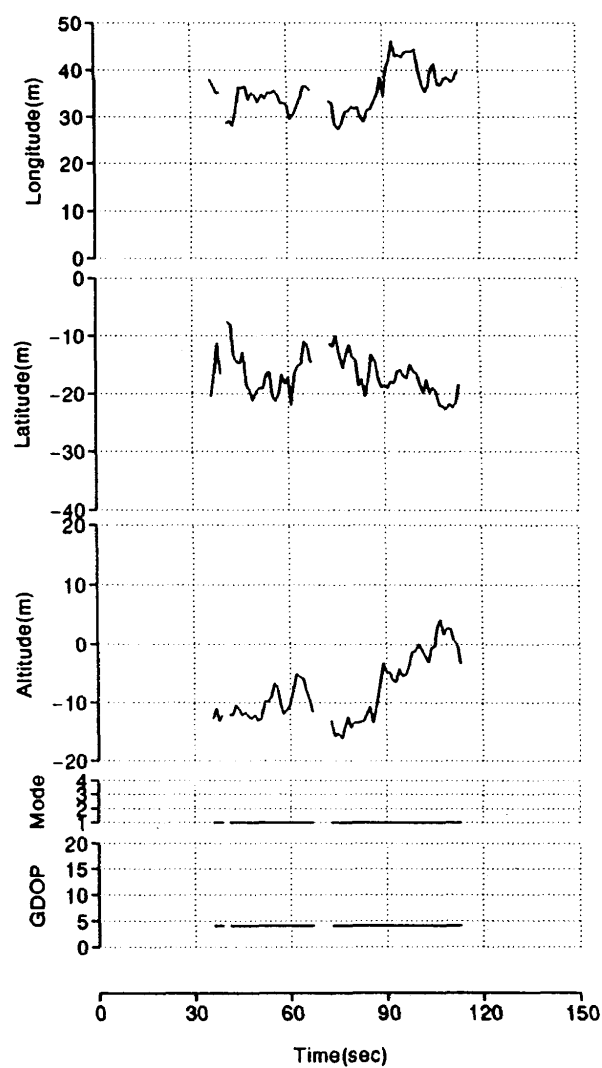
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

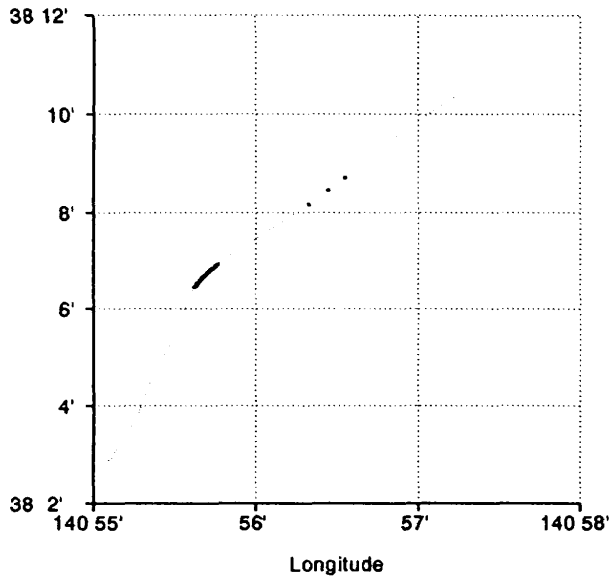


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

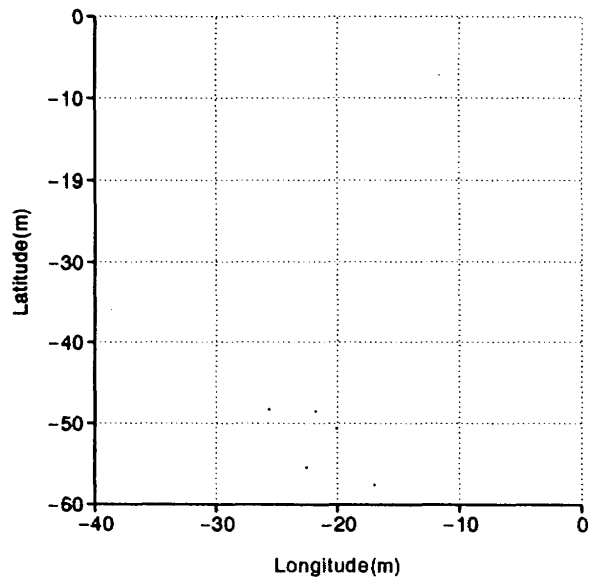


(2-b) Diff. TIME HISTORY

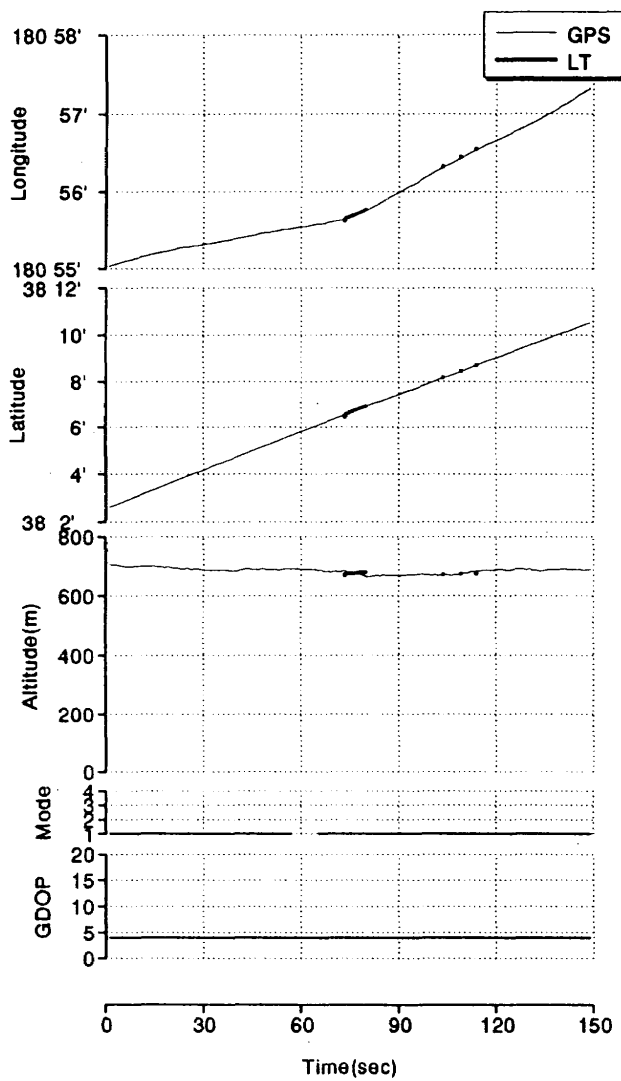
図 4.41 F12C04(L-6) 実験結果



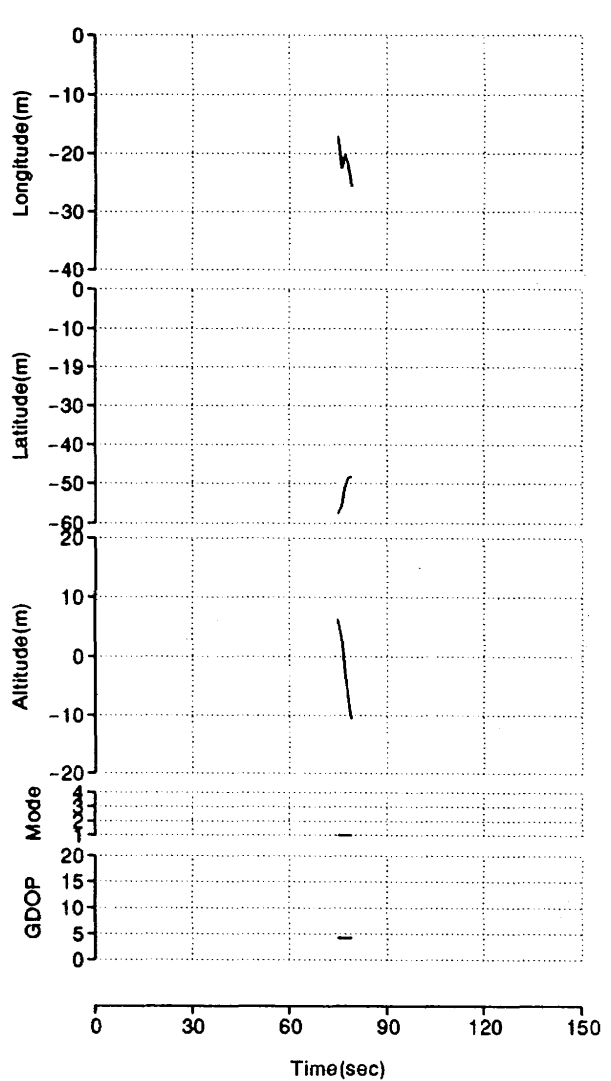
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

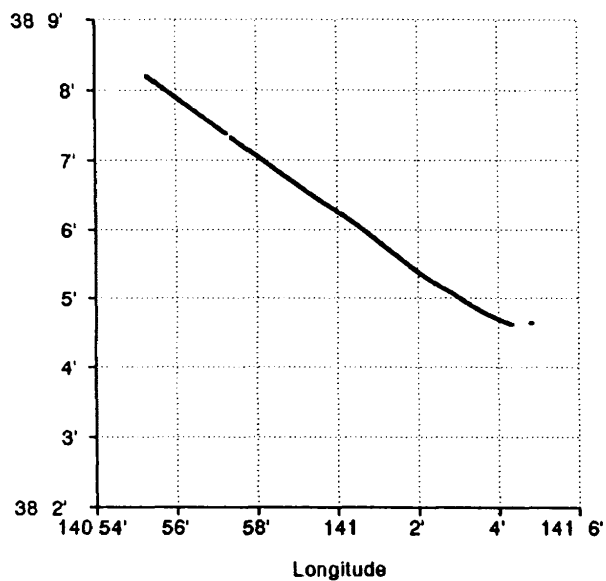


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

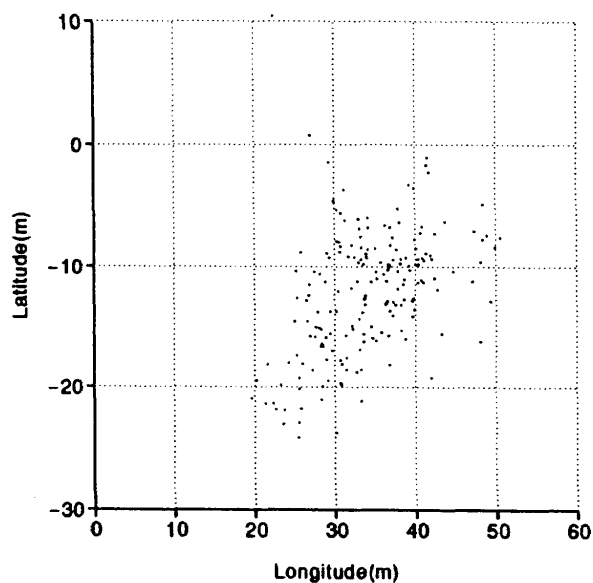


(2-b) Diff. TIME HISTORY

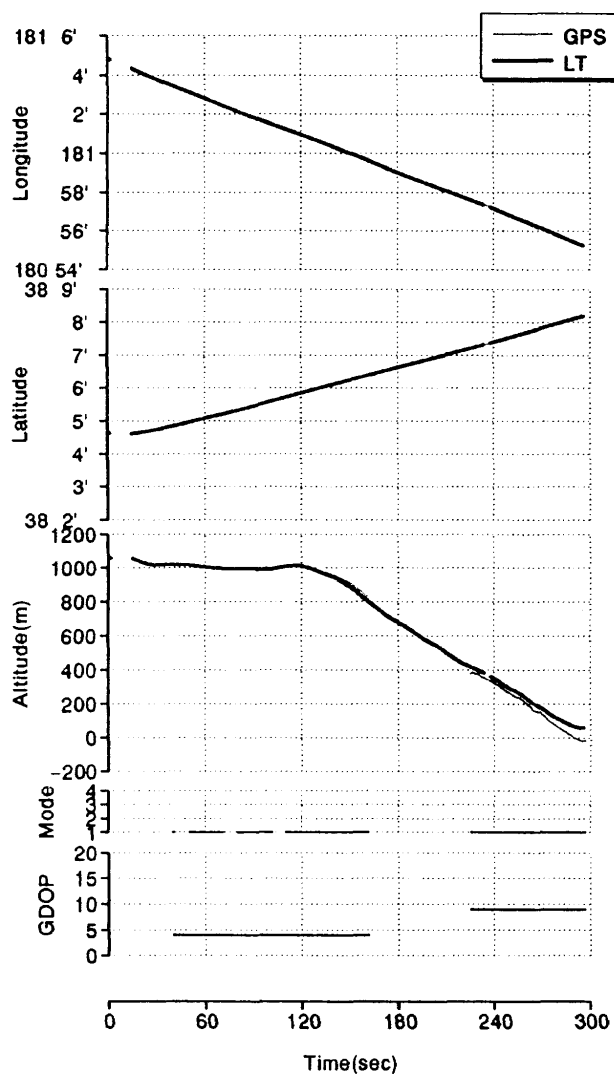
図 4.42 F12C05(SL-1) 実験結果



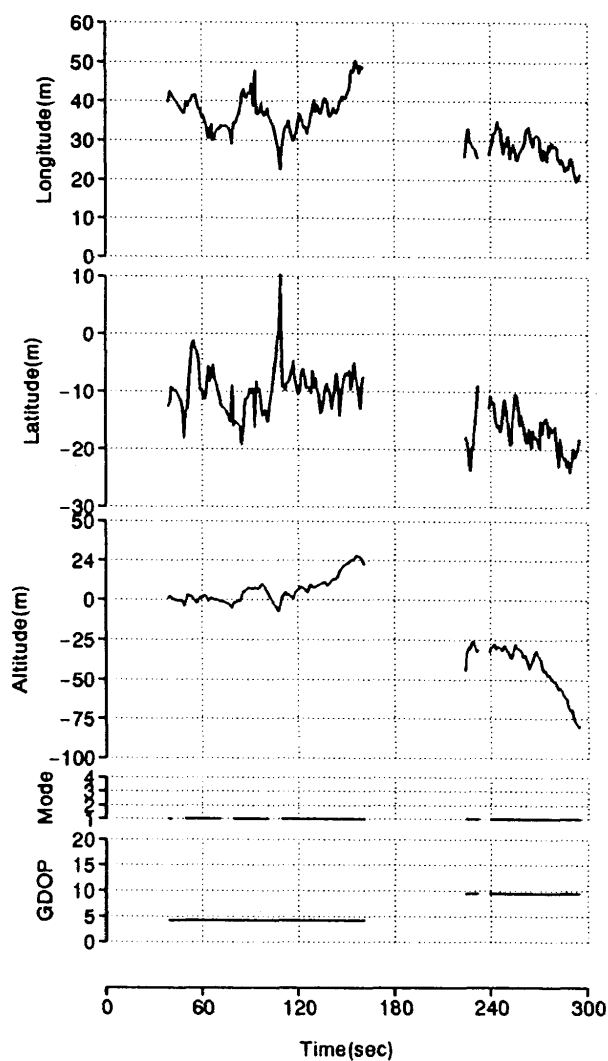
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

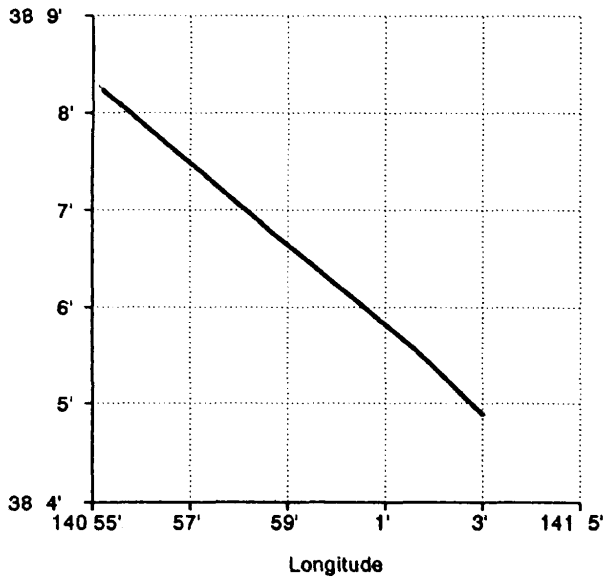


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

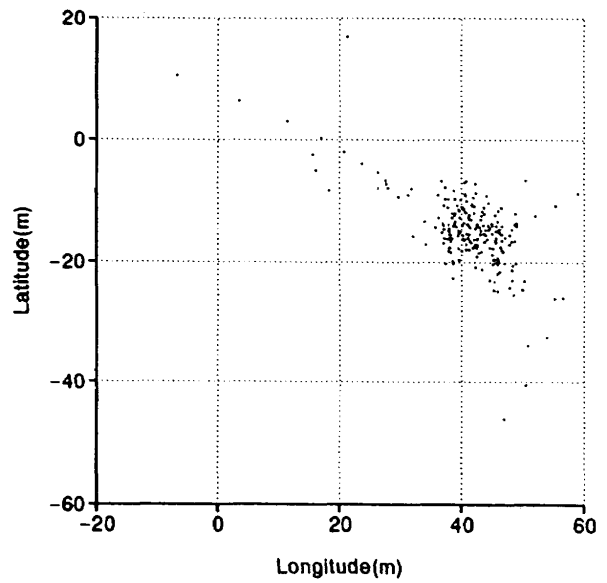


(2-b) Diff. TIME HISTORY

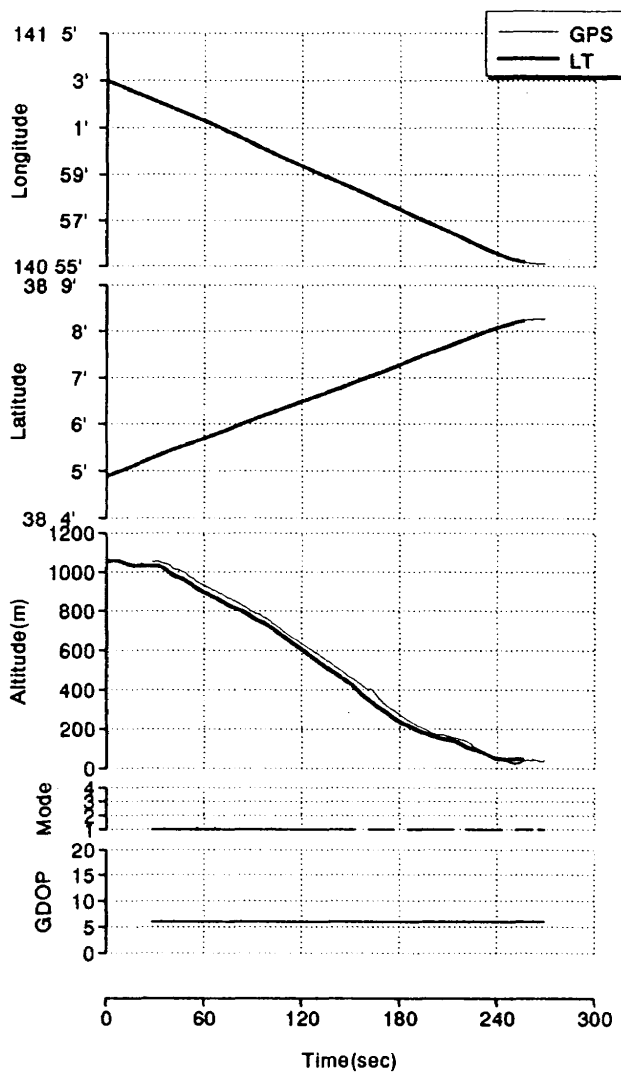
図 4.43 F12C06(A-3) 実験結果



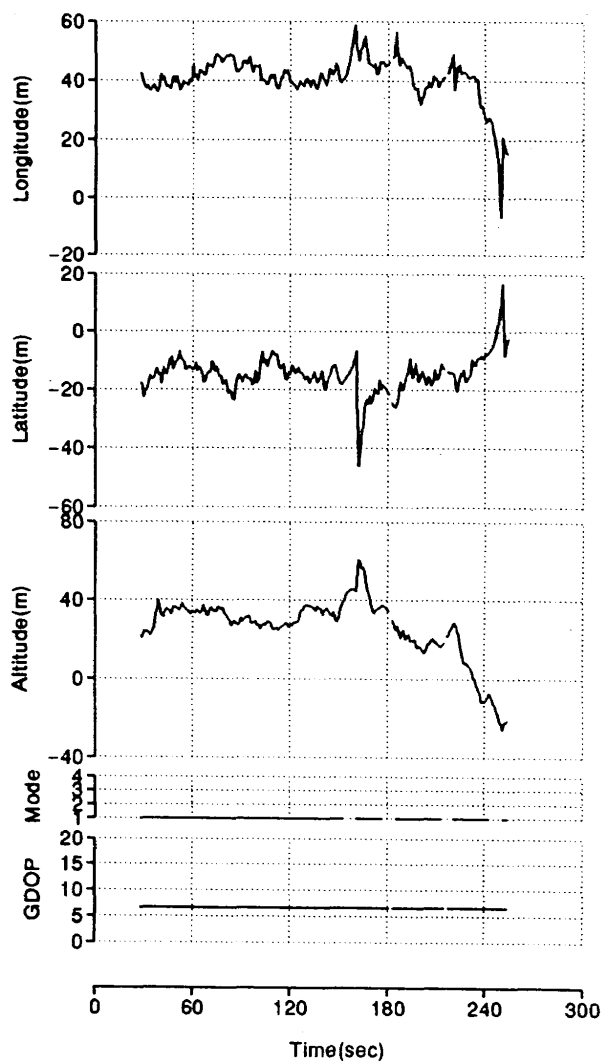
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

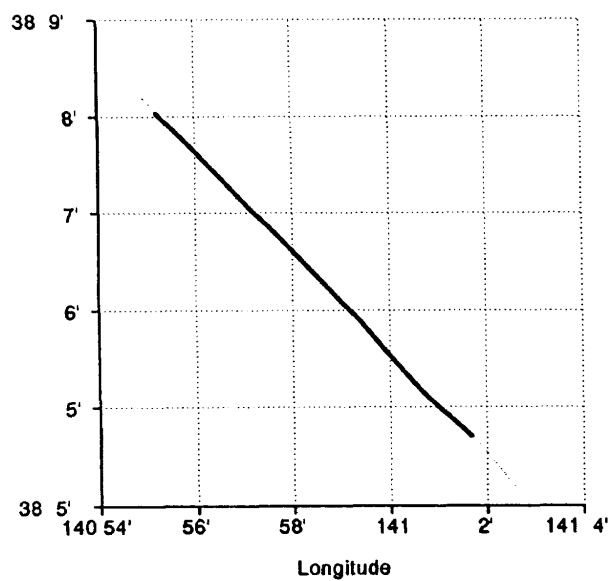


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

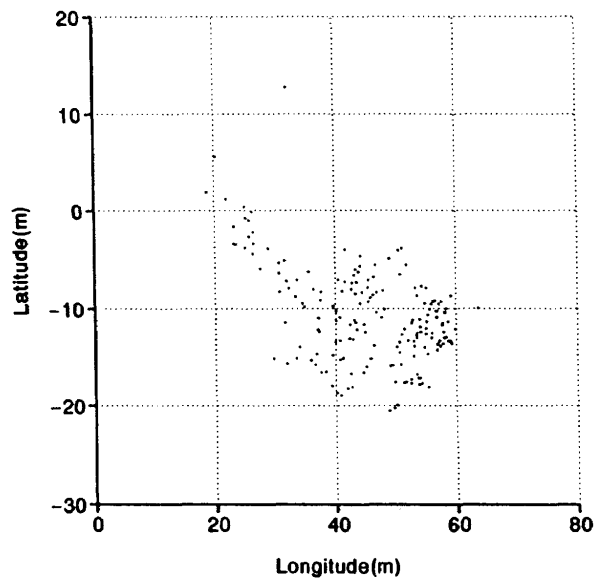


(2-b) Diff. TIME HISTORY

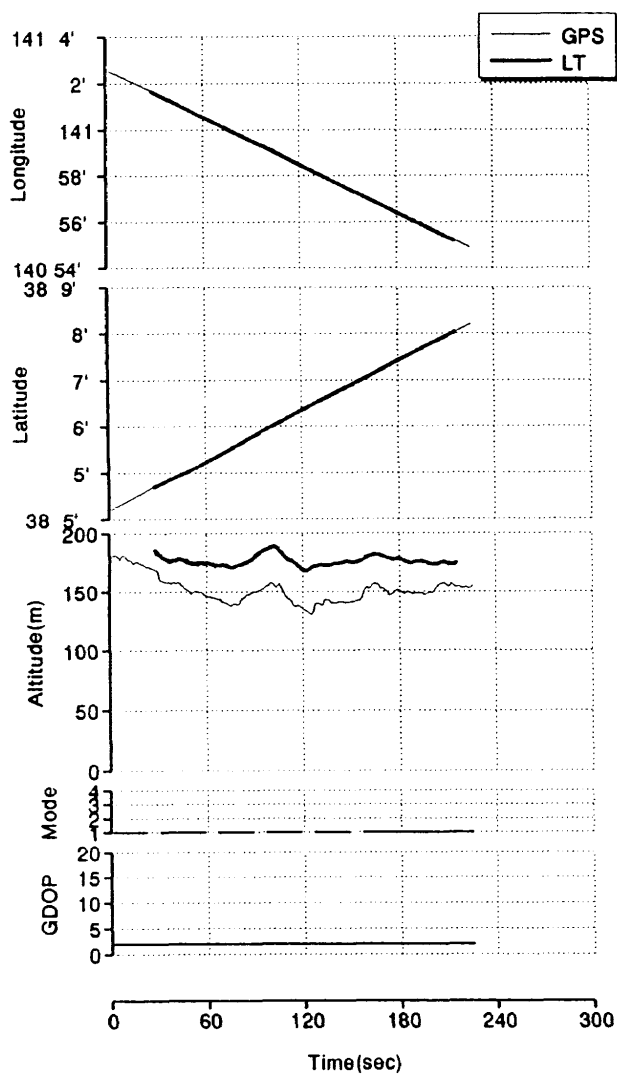
図 4.44 F12C07(SA-3) 実験結果



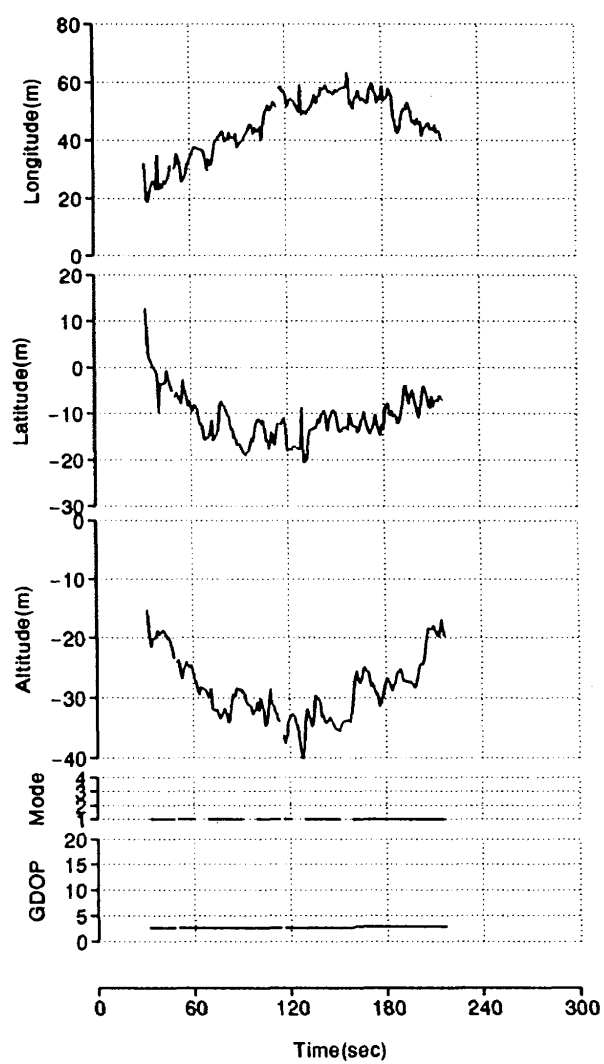
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

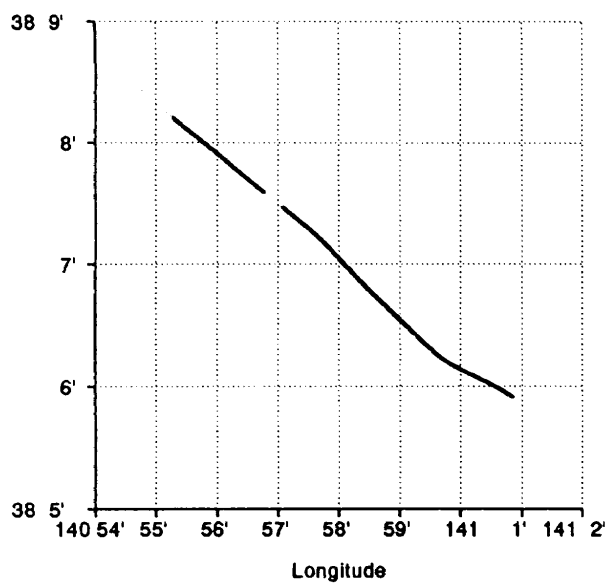


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

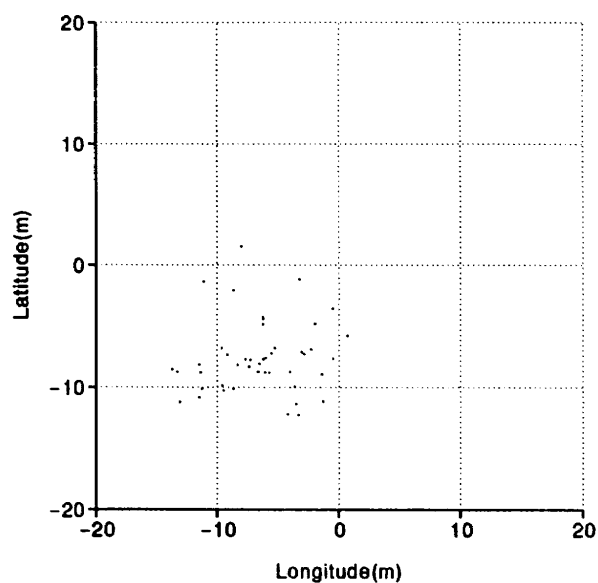


(2-b) Diff. TIME HISTORY

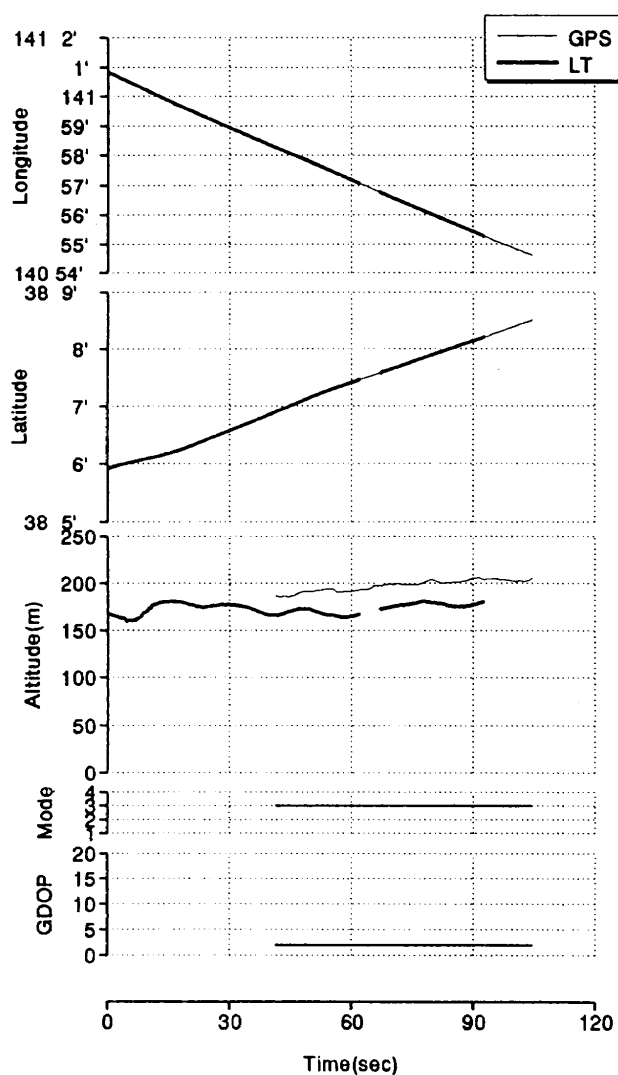
図 4.45 F14C03(L-4) 実験結果



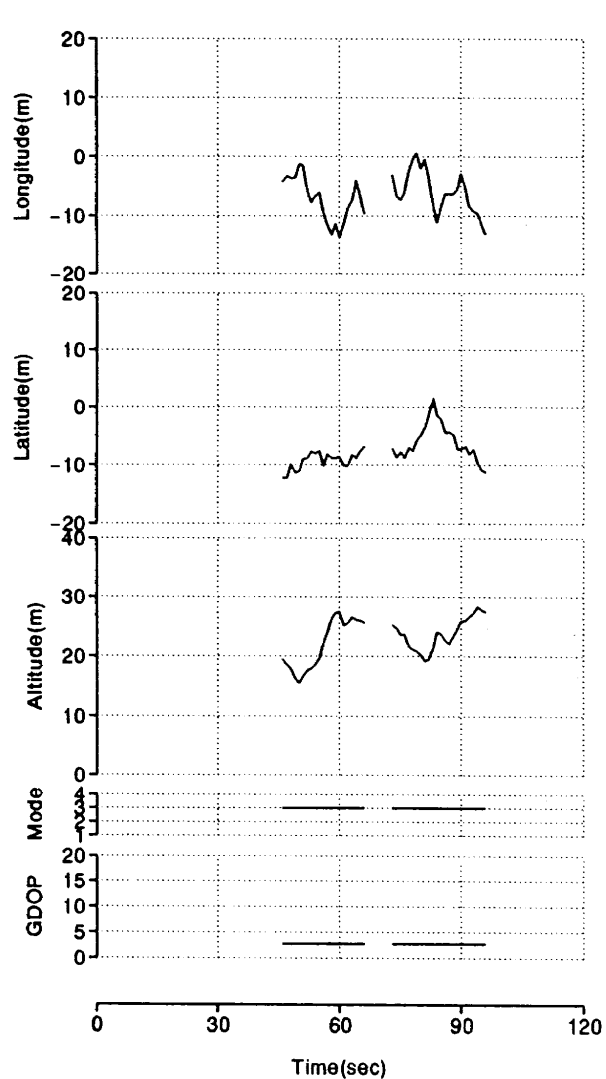
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

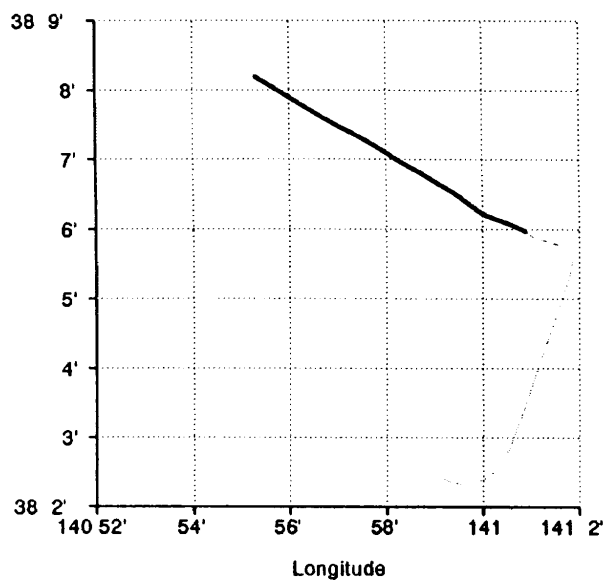


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

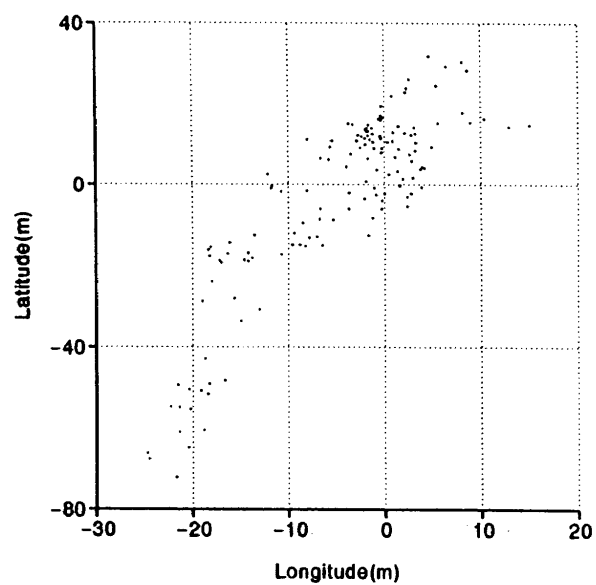


(2-b) Diff. TIME HISTORY

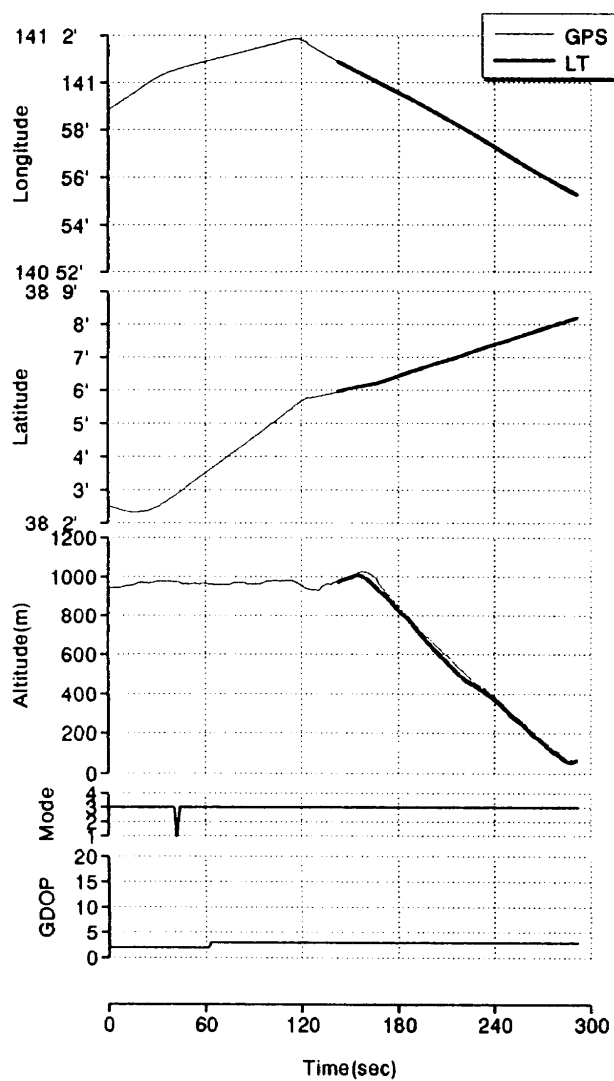
図 4.46 F14C04(L-6) 実験結果



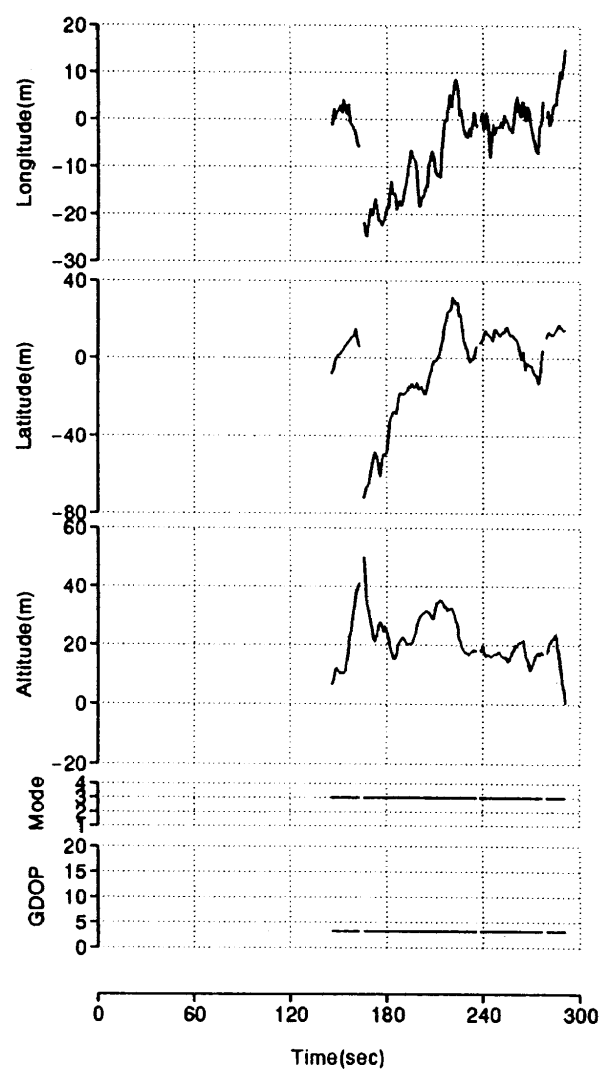
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

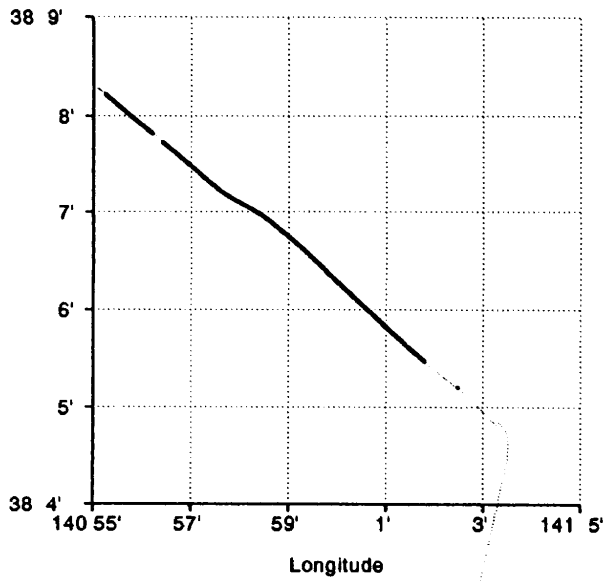


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

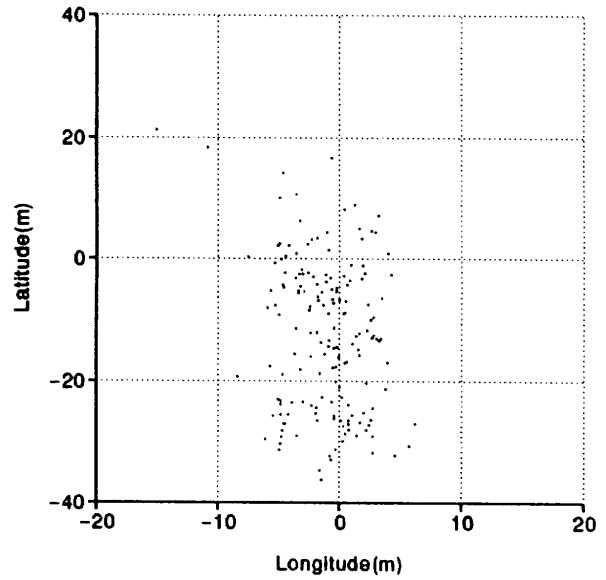


(2-b) Diff. TIME HISTORY

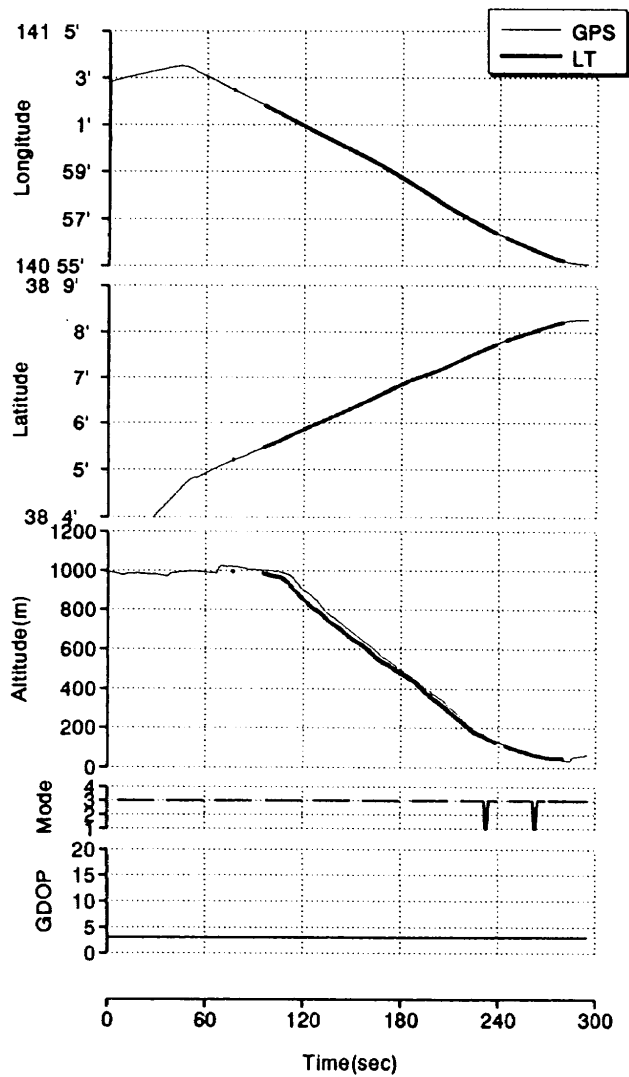
図 4.47 F14C06(A-3) 実験結果



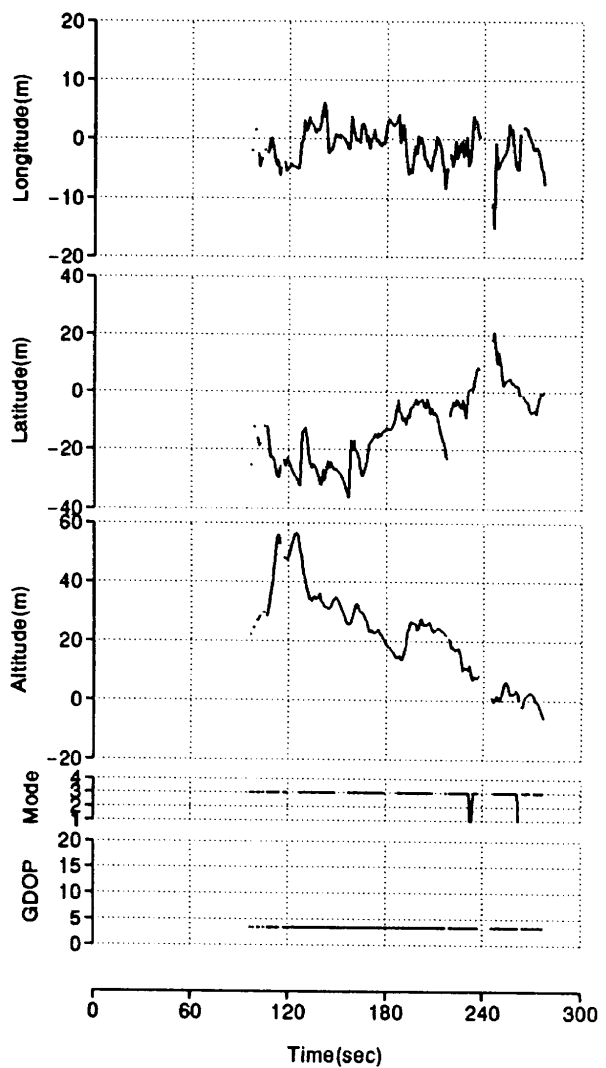
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

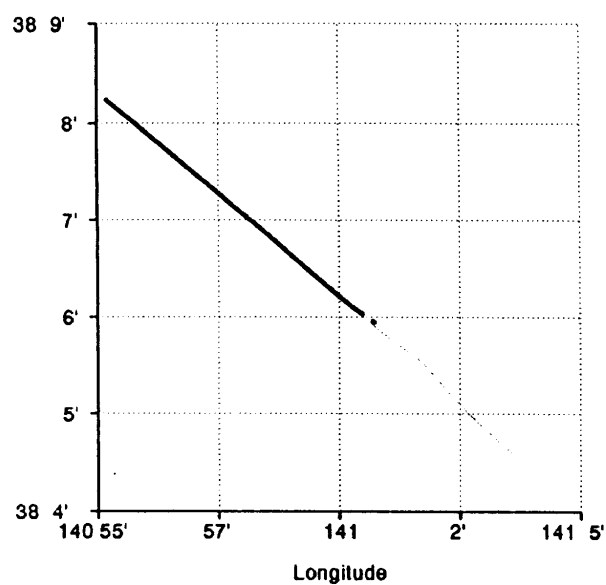


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

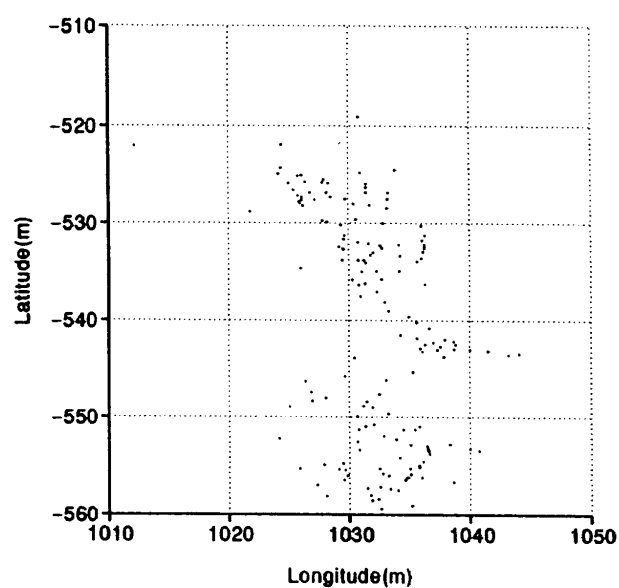


(2-b) Diff. TIME HISTORY

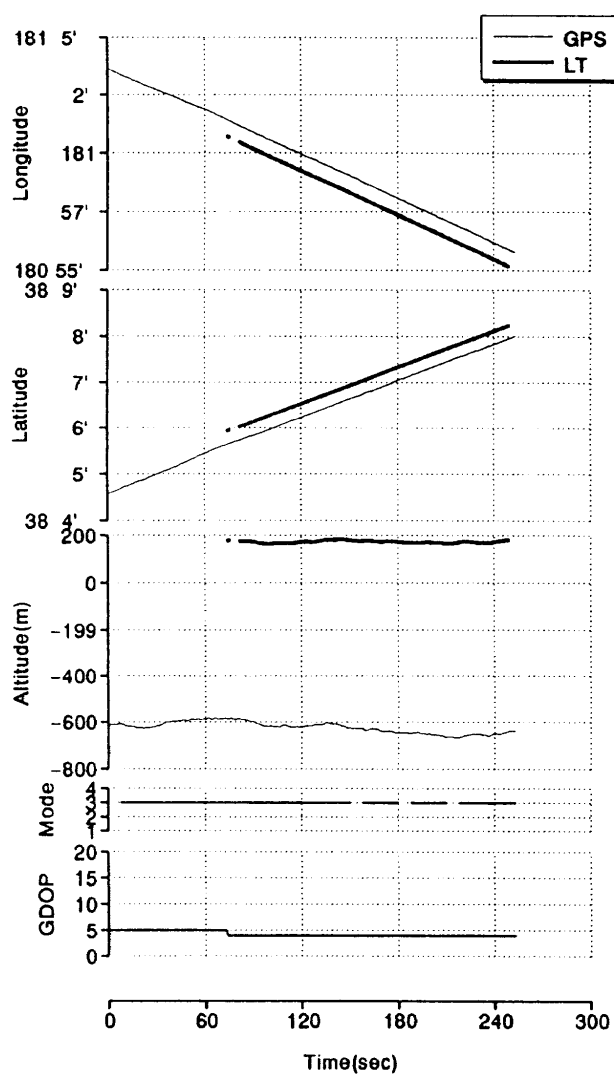
図 4.48 F14C07(SA-3) 実験結果



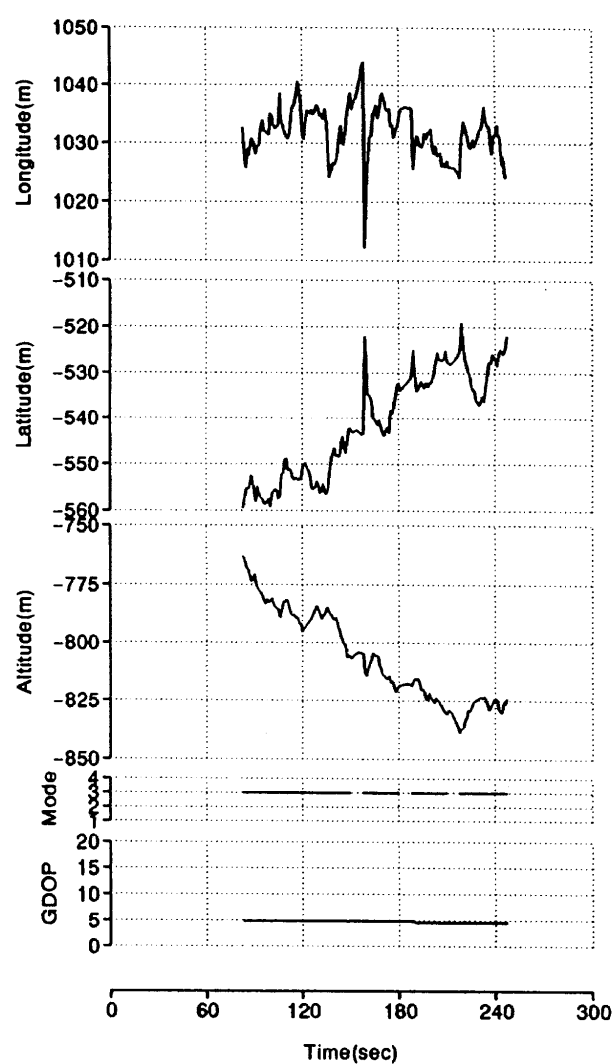
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

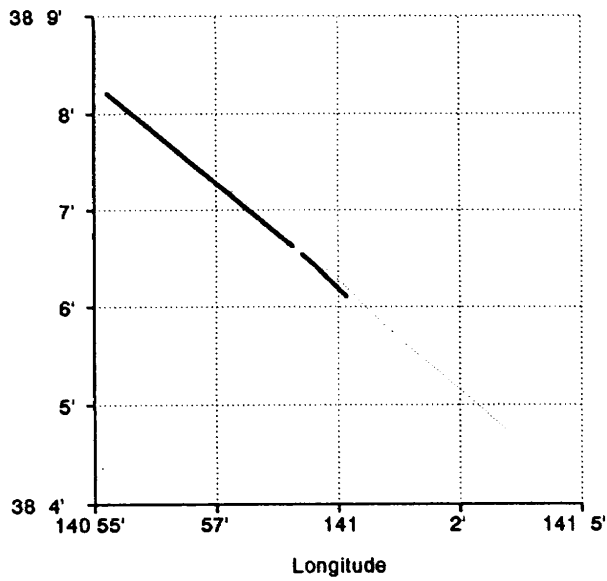


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

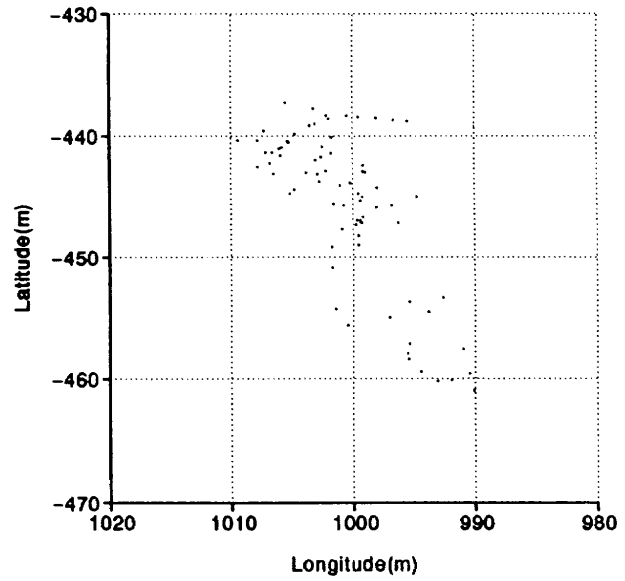


(2-b) Diff. TIME HISTORY

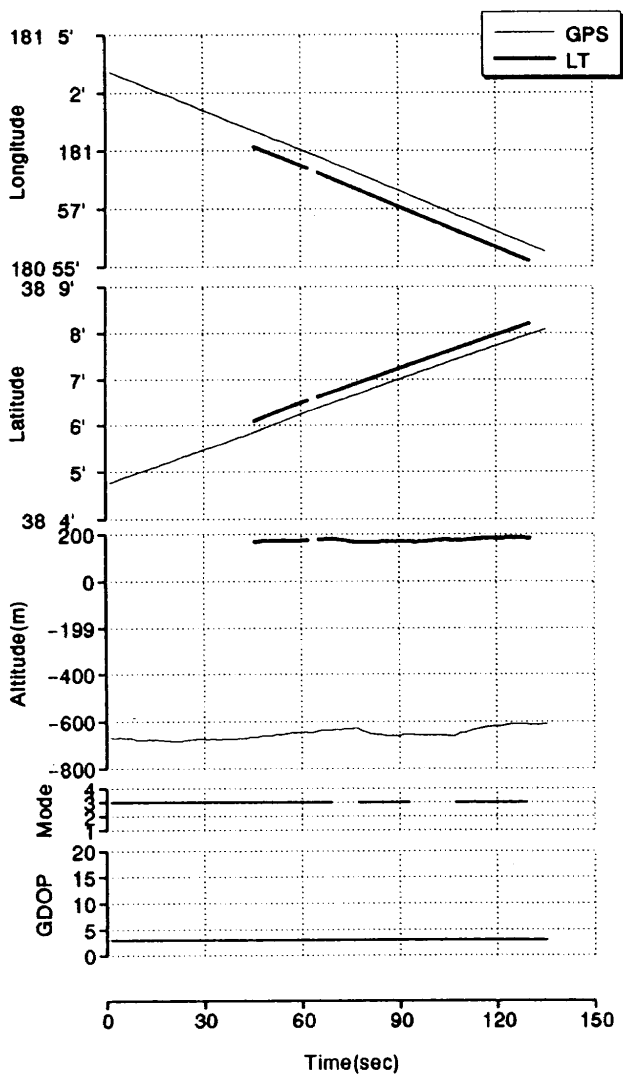
図 4.49 F15C03(L-4) 実験結果



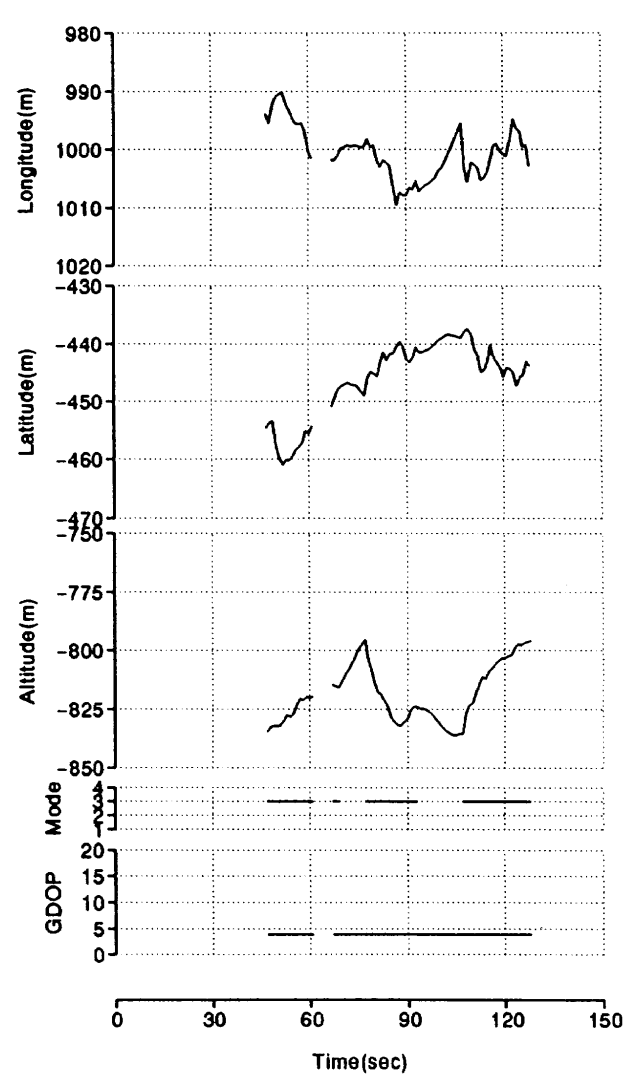
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

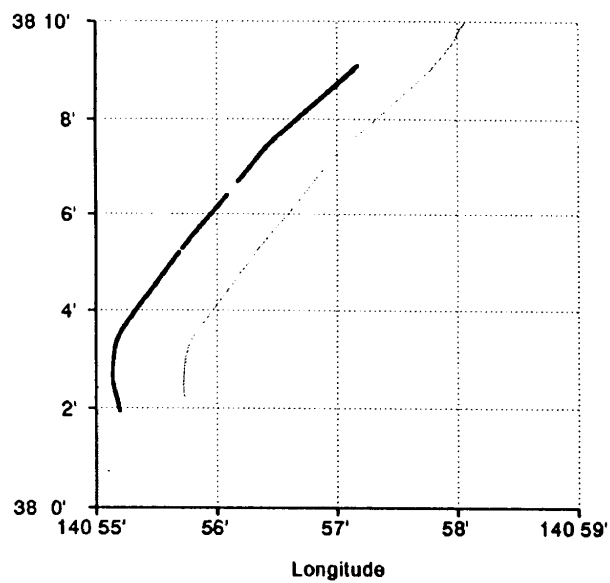


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

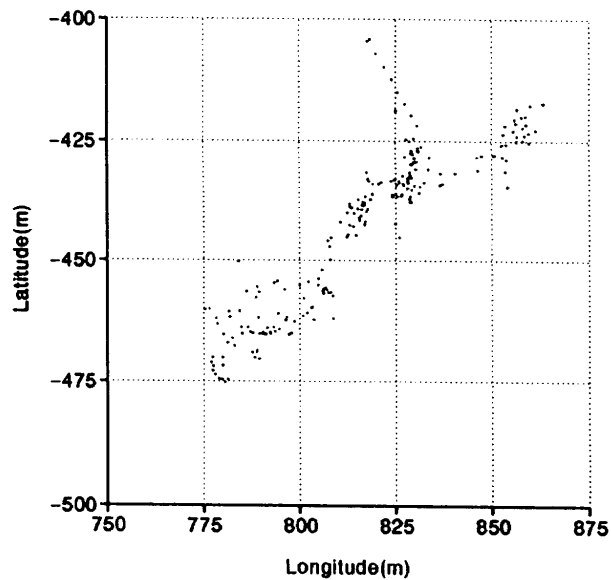


(2-b) Diff. TIME HISTORY

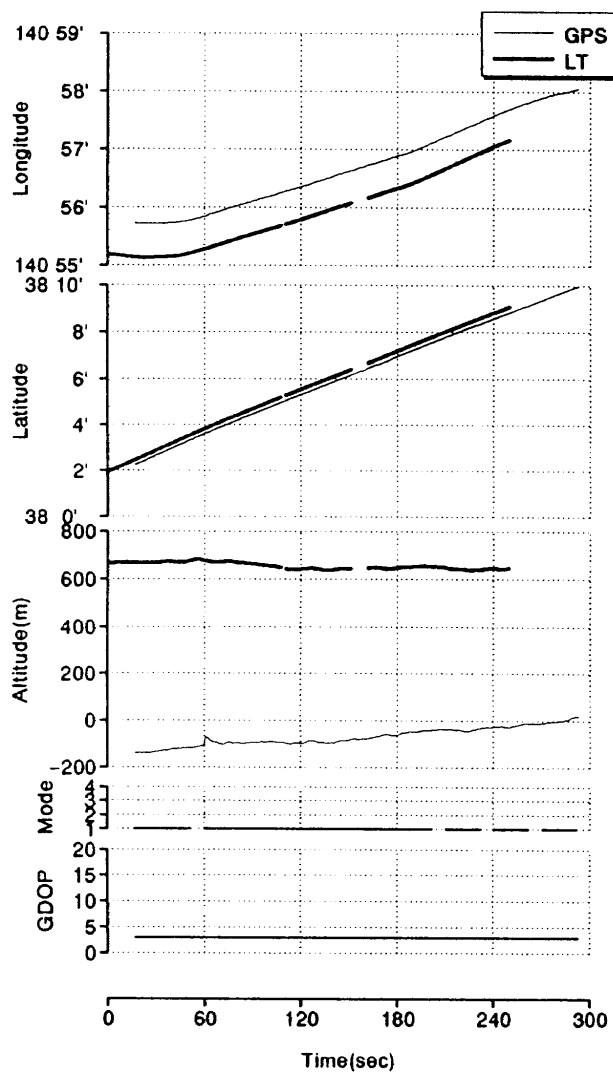
図 4.50 F15C04(L-6) 実験結果



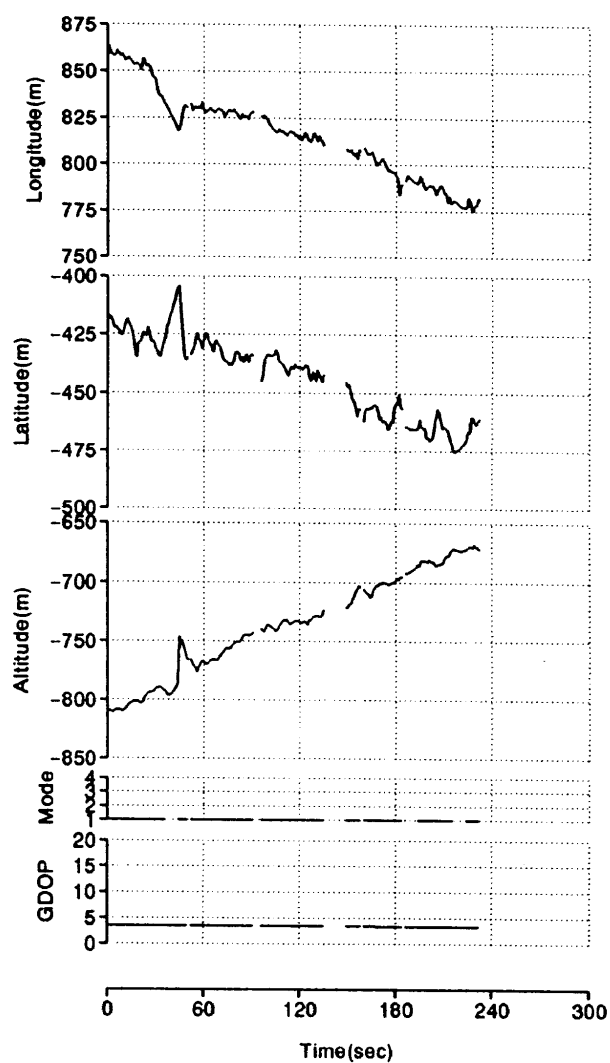
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

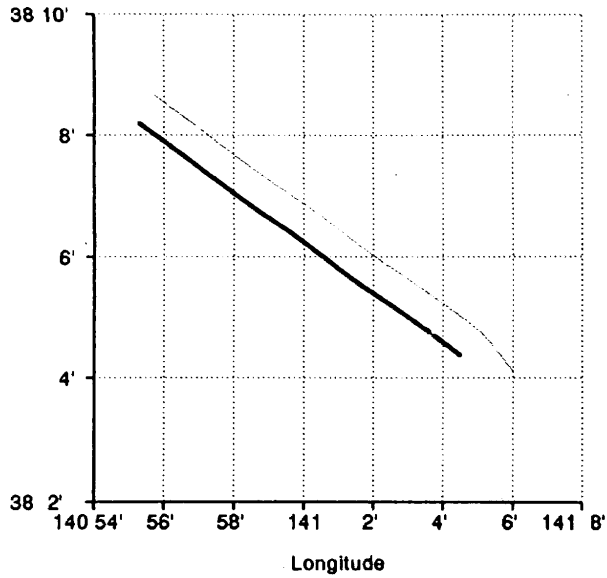


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

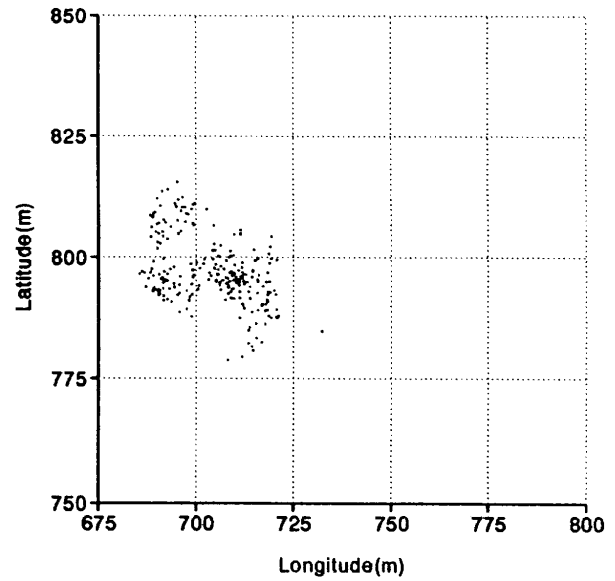


(2-b) Diff. TIME HISTORY

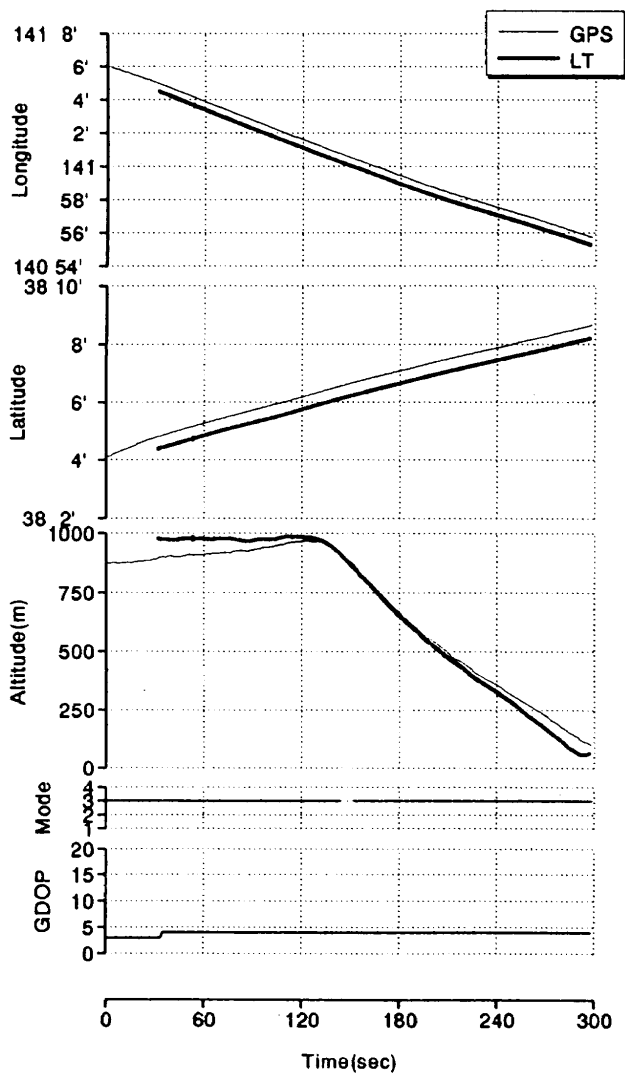
図 4.51 F15C05(SL-1) 実験結果



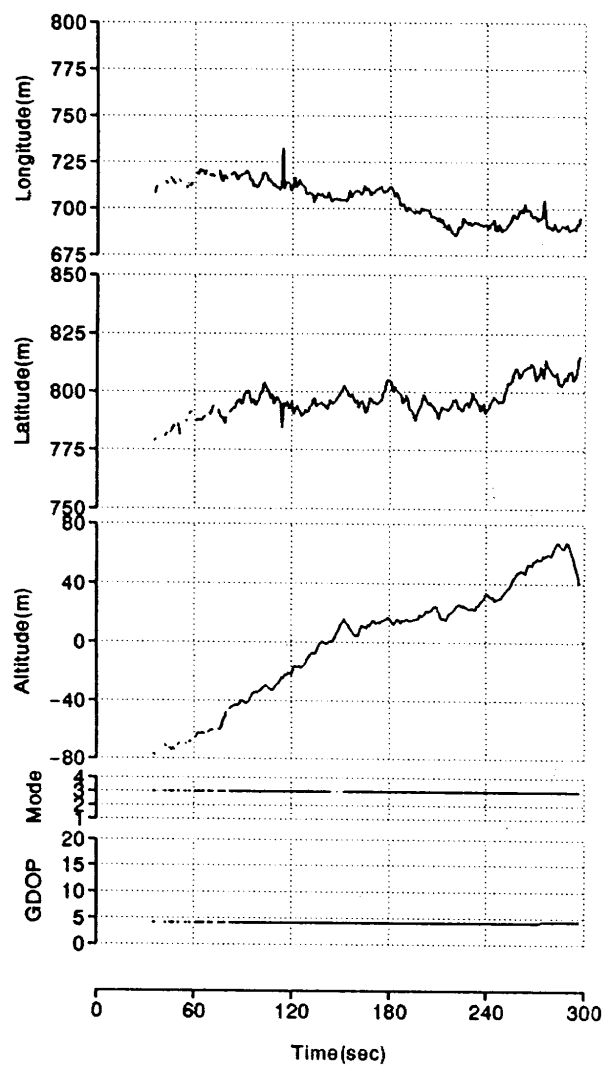
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

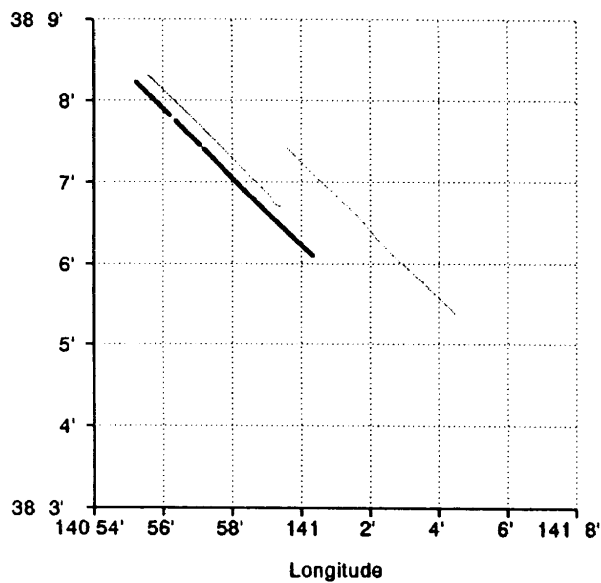


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

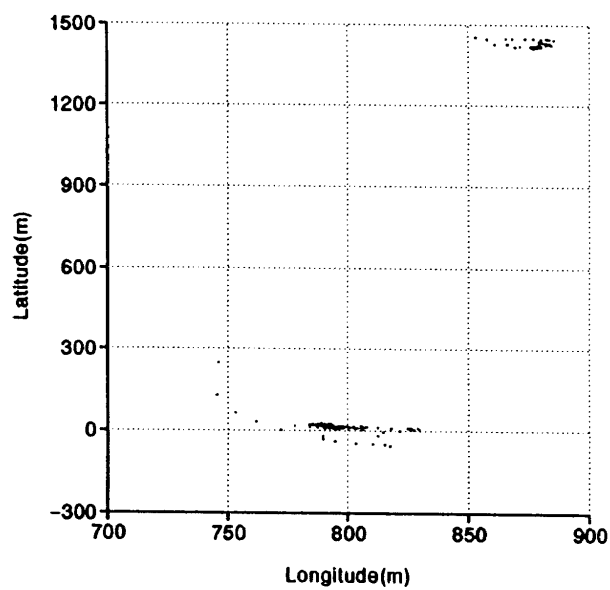


(2-b) Diff. TIME HISTORY

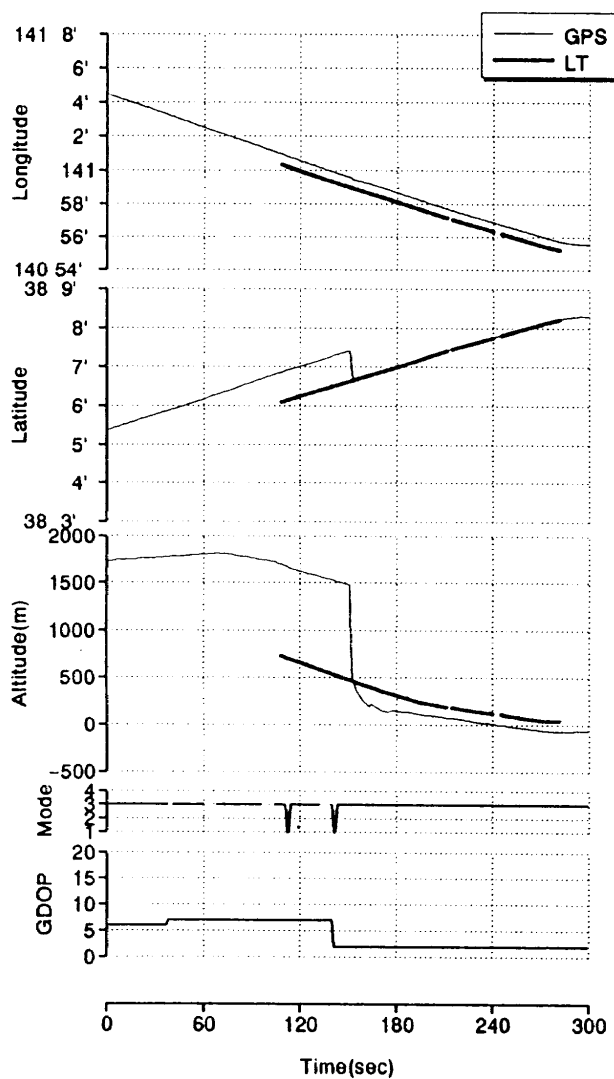
図 4.52 F15C06(A-3) 実験結果



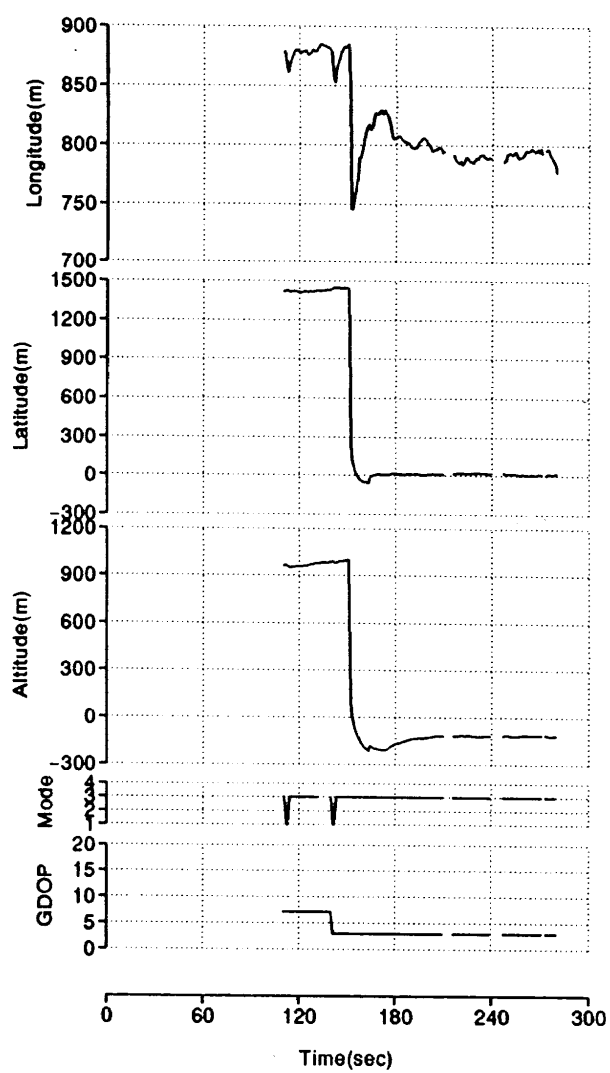
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

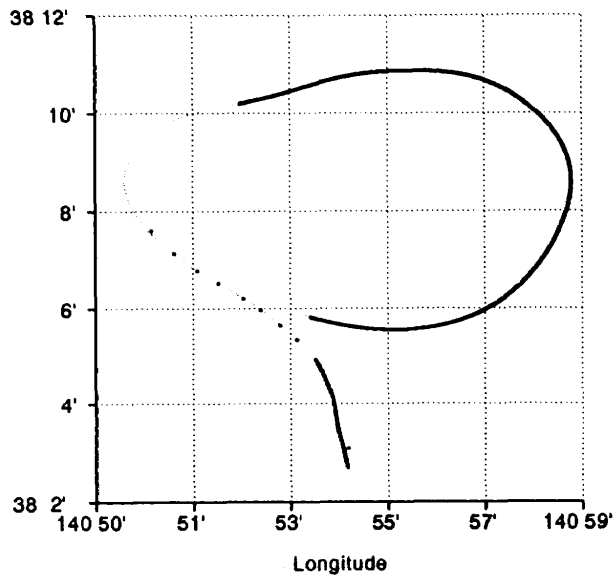


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

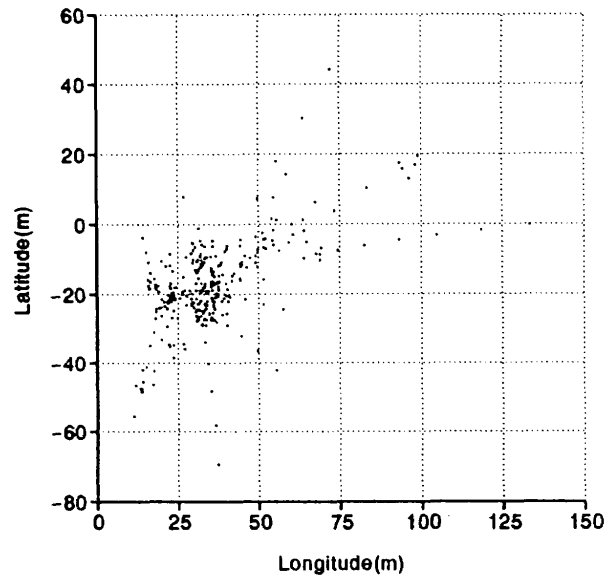


(2-b) Diff. TIME HISTORY

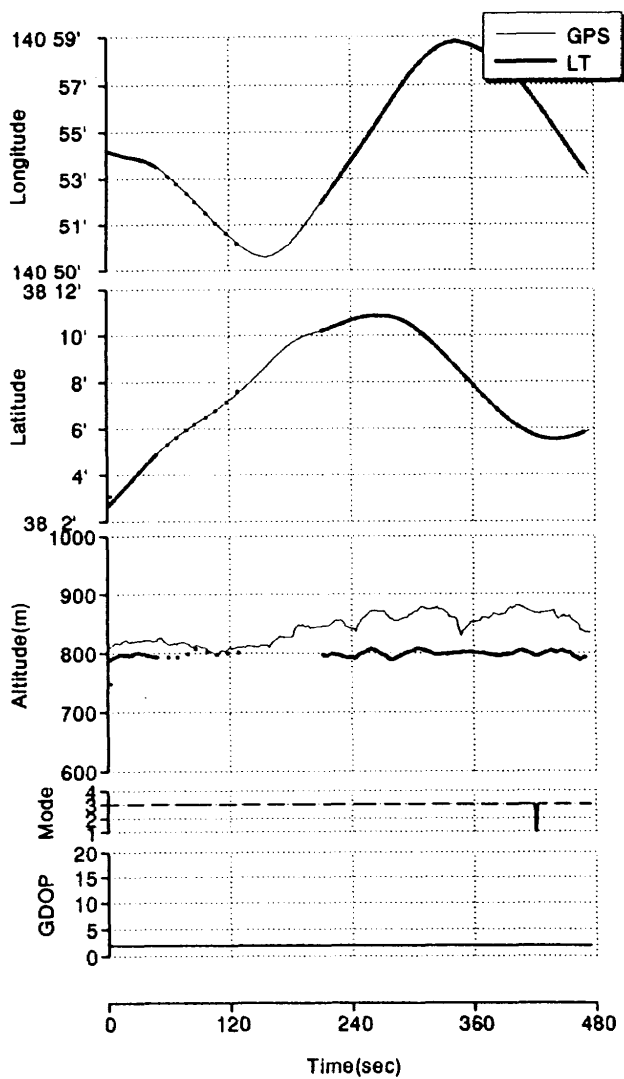
図 4.53 F15C07(SA-3) 実験結果



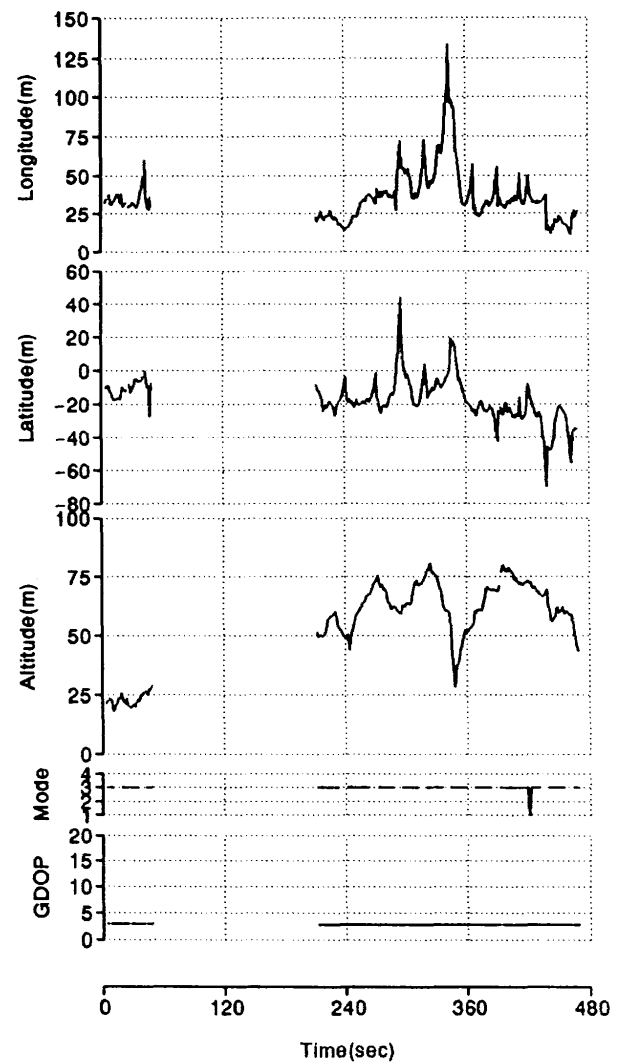
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

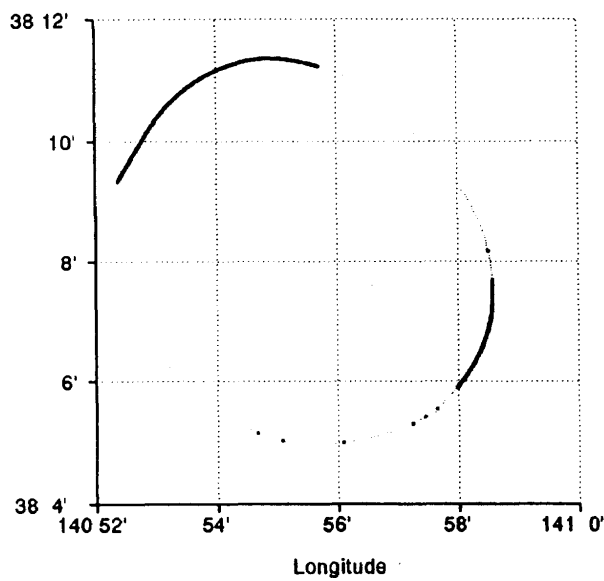


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

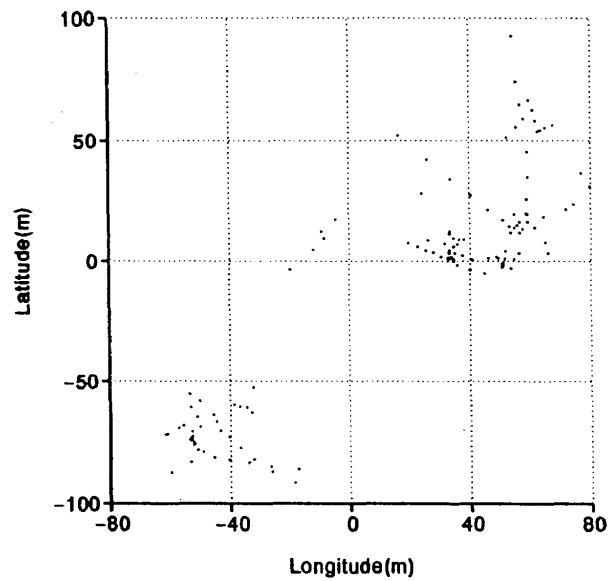


(2-b) Diff. TIME HISTORY

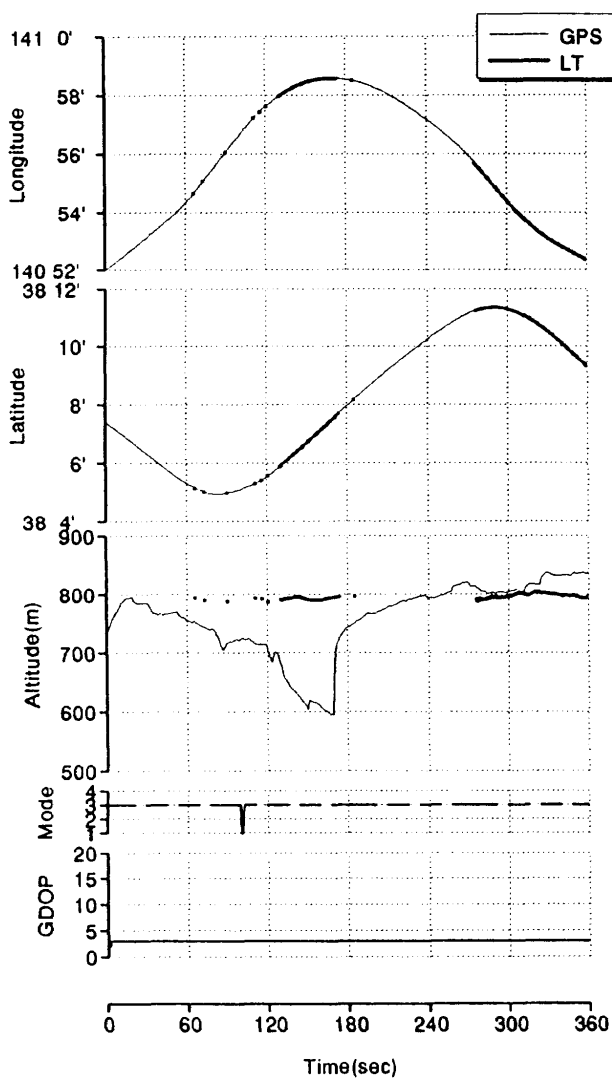
図 4.54 F16C01A (O-1) 実験結果



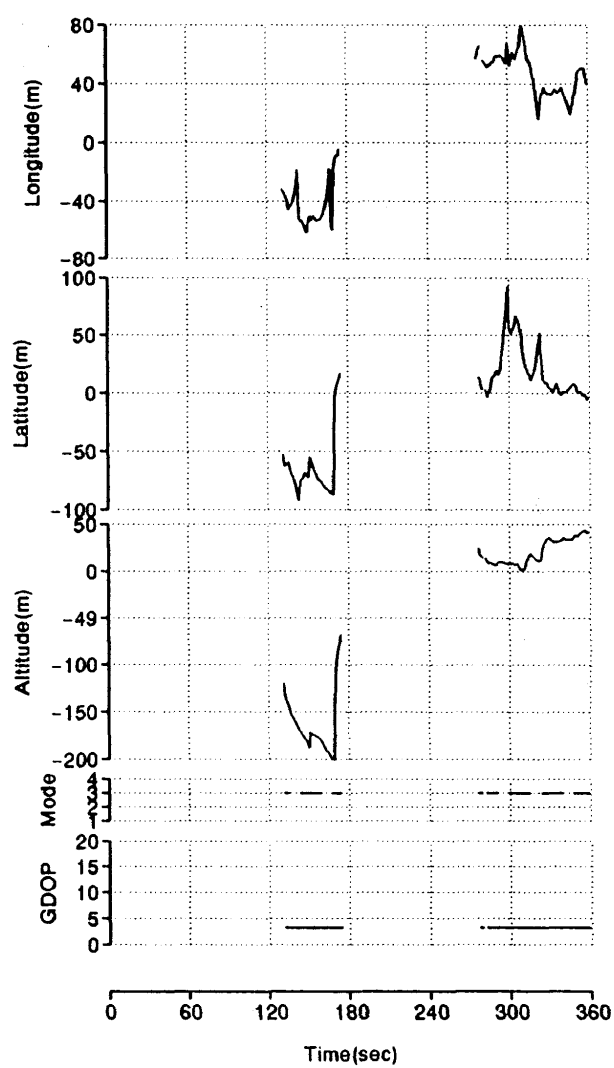
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

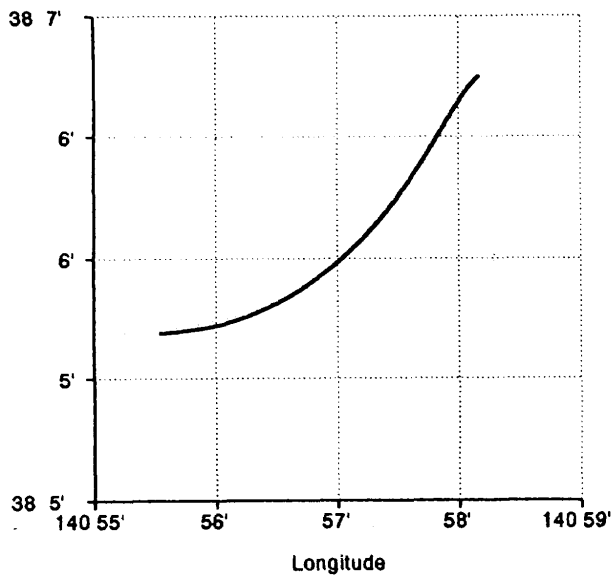


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

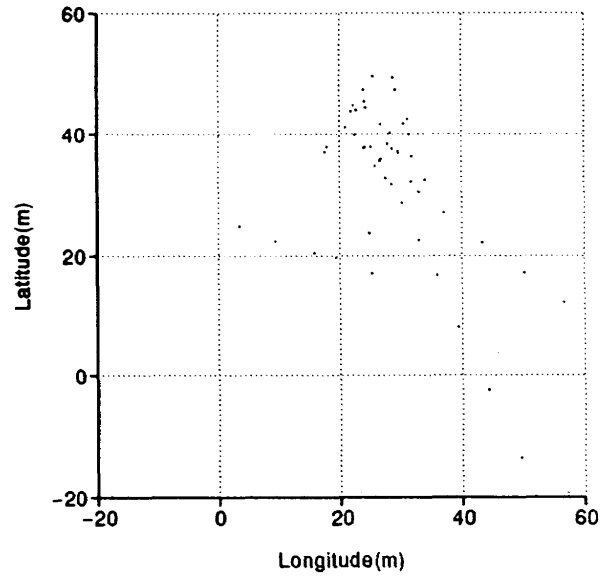


(2-b) Diff. TIME HISTORY

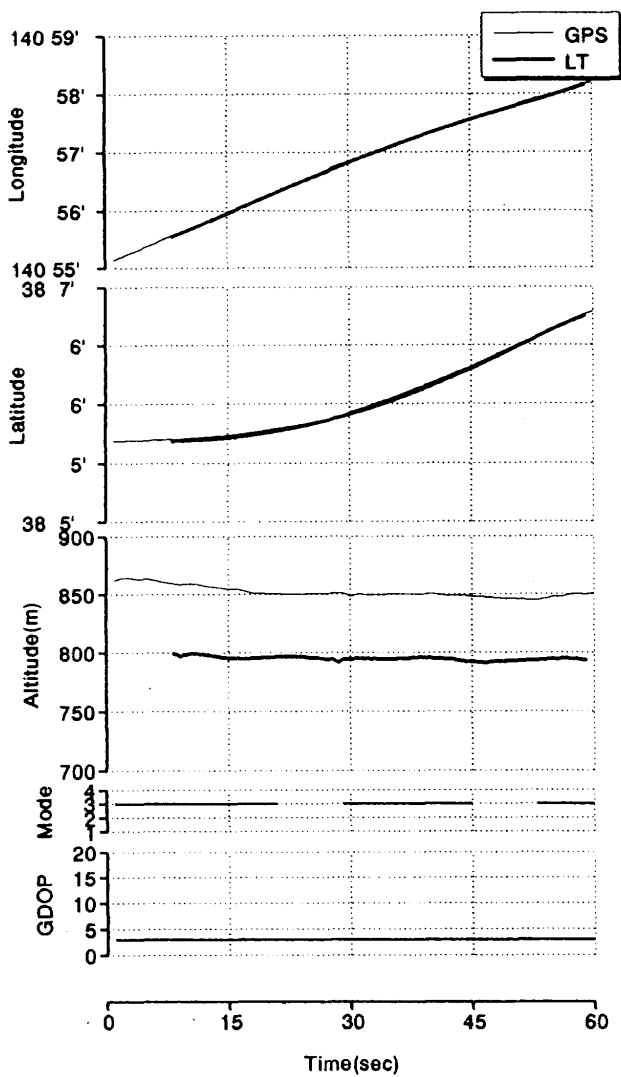
図 4.55 F16C01B(O-1) 実験結果



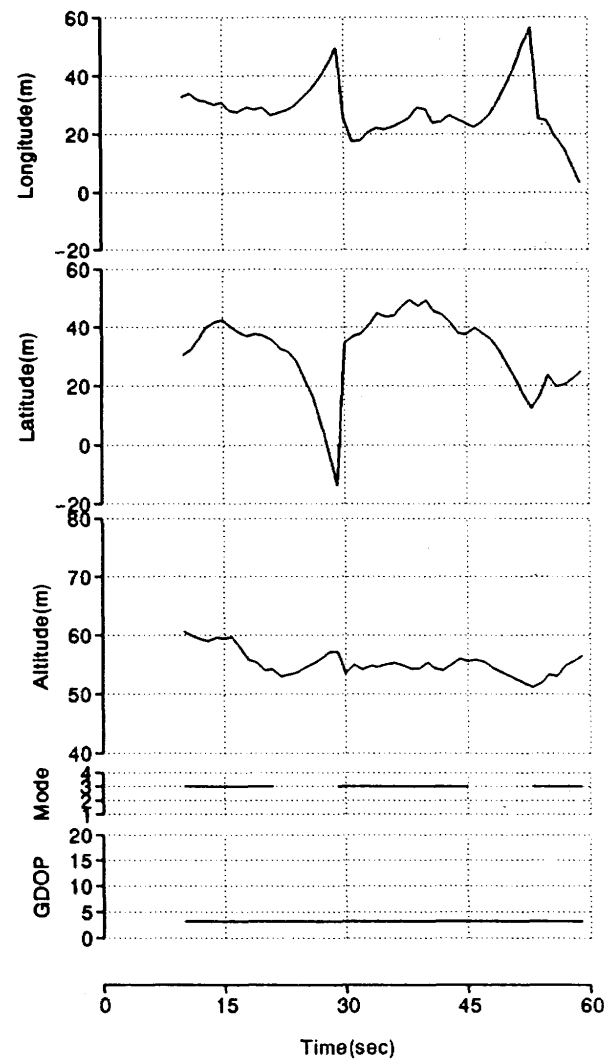
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

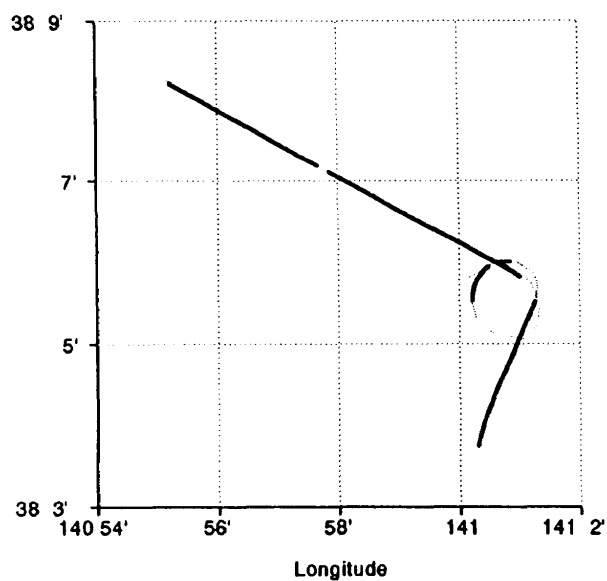


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

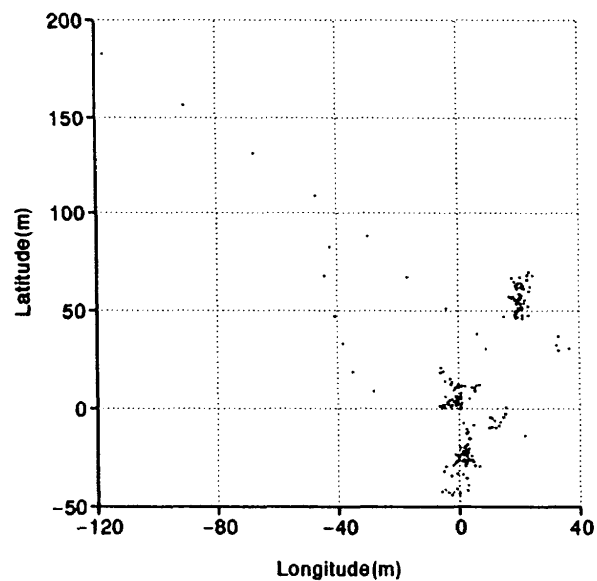


(2-b) Diff. TIME HISTORY

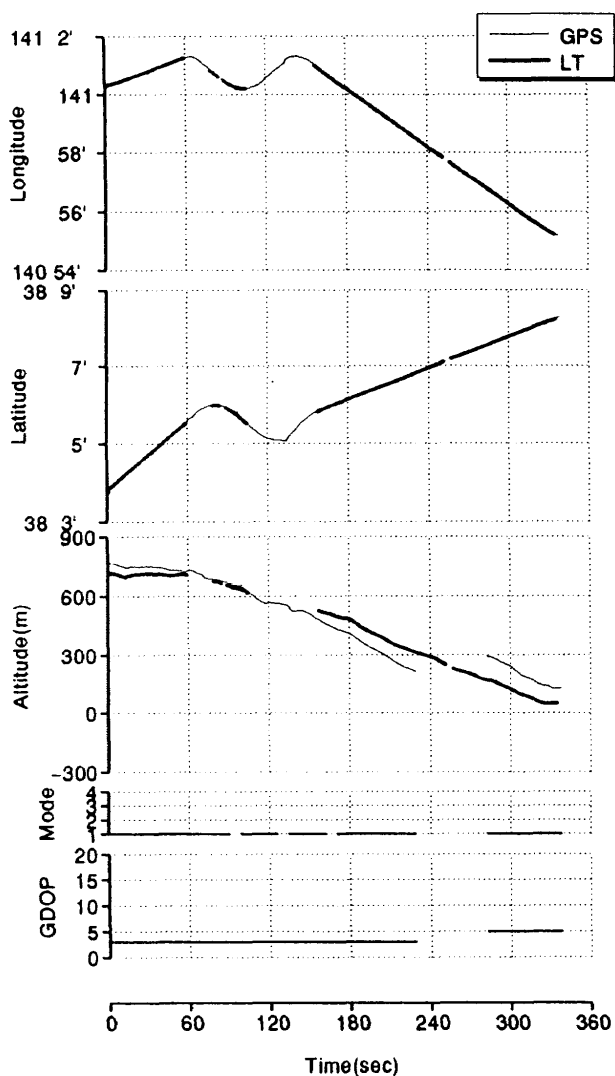
図 4.56 F16C01C(O-1) 実験結果



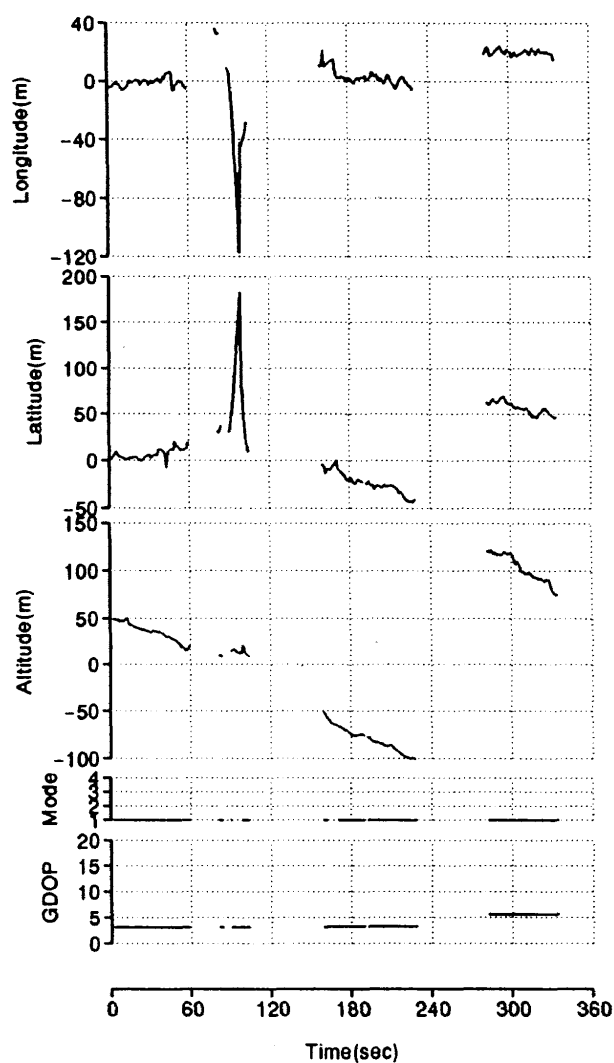
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

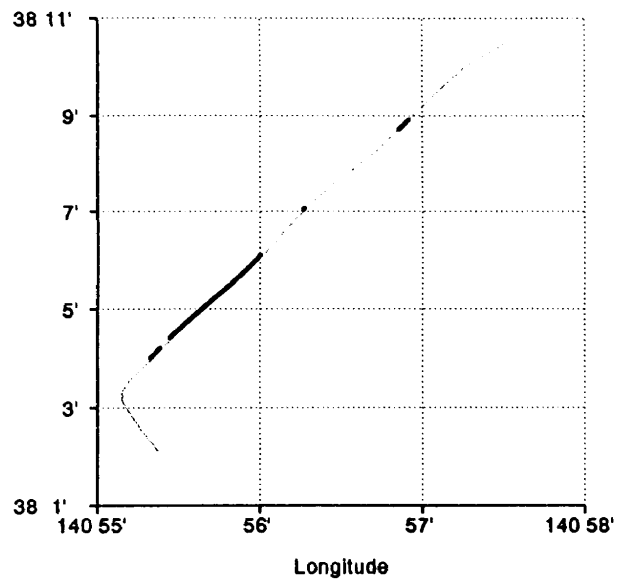


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

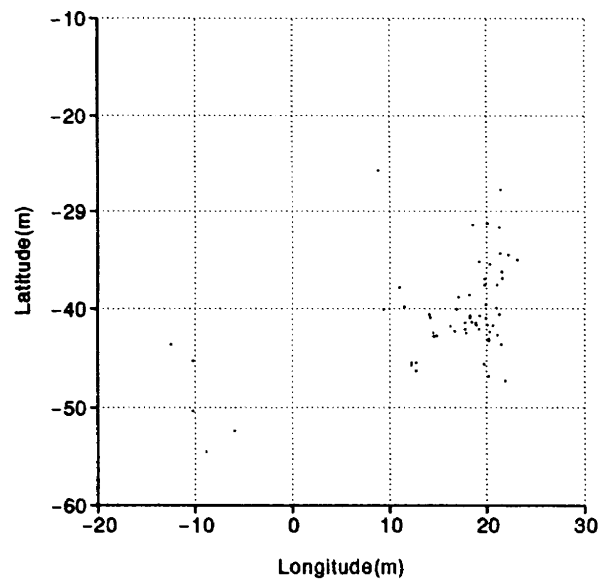


(2-b) Diff. TIME HISTORY

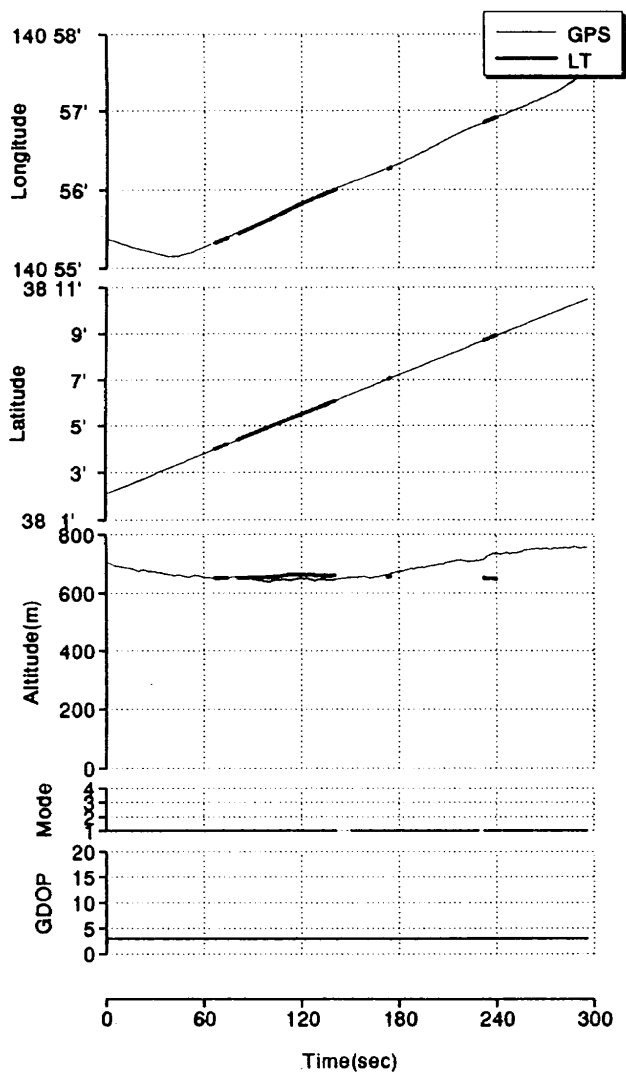
図 4.57 F16C01D(SA-4) 実験結果



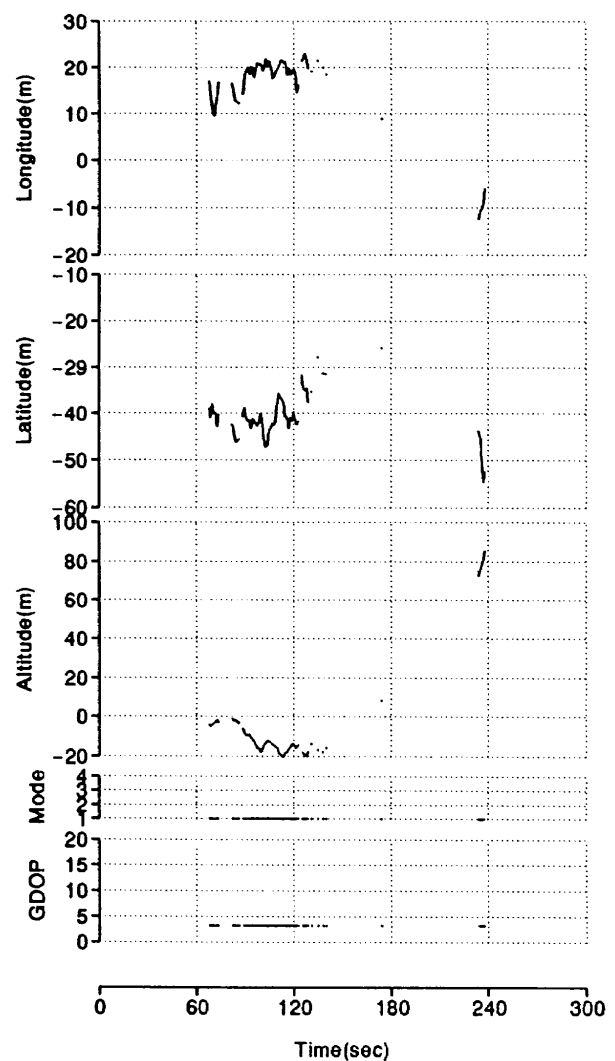
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

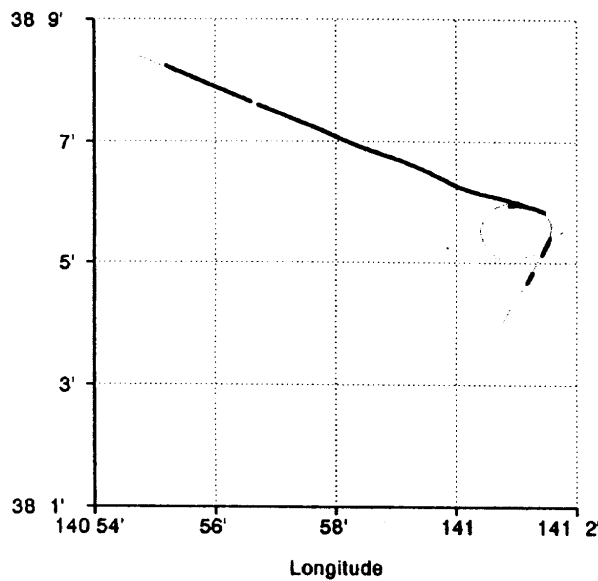


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

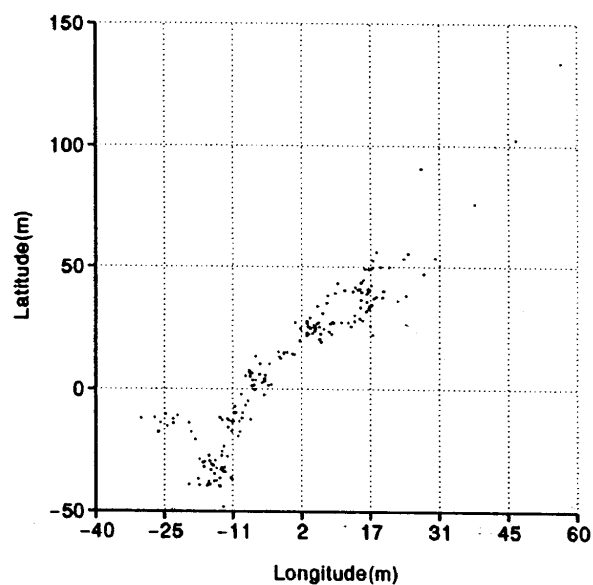


(2-b) Diff. TIME HISTORY

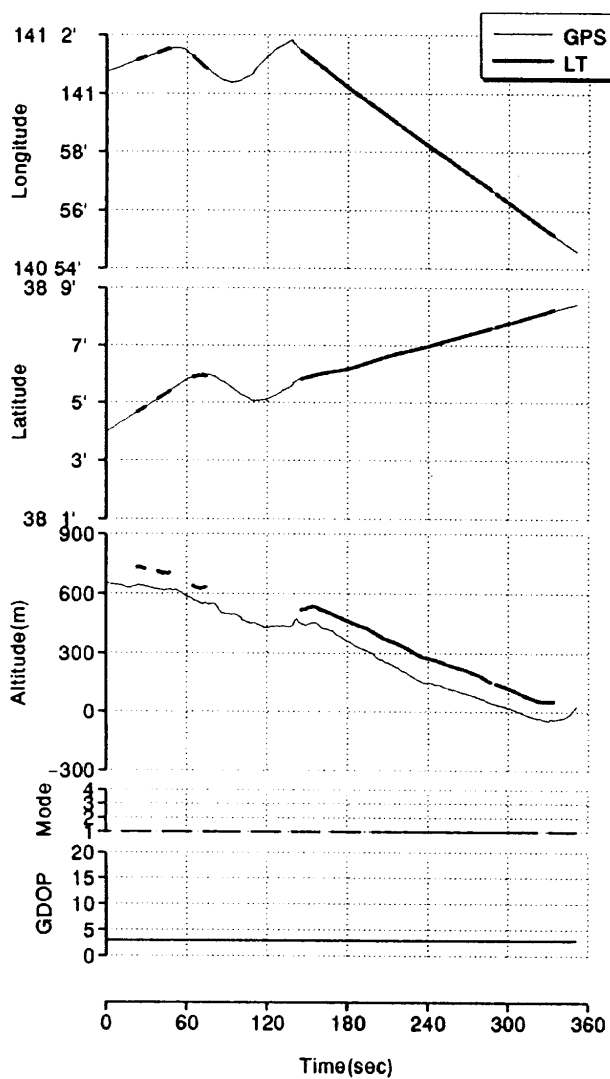
図 4.58 F17C03(SL-1) 実験結果



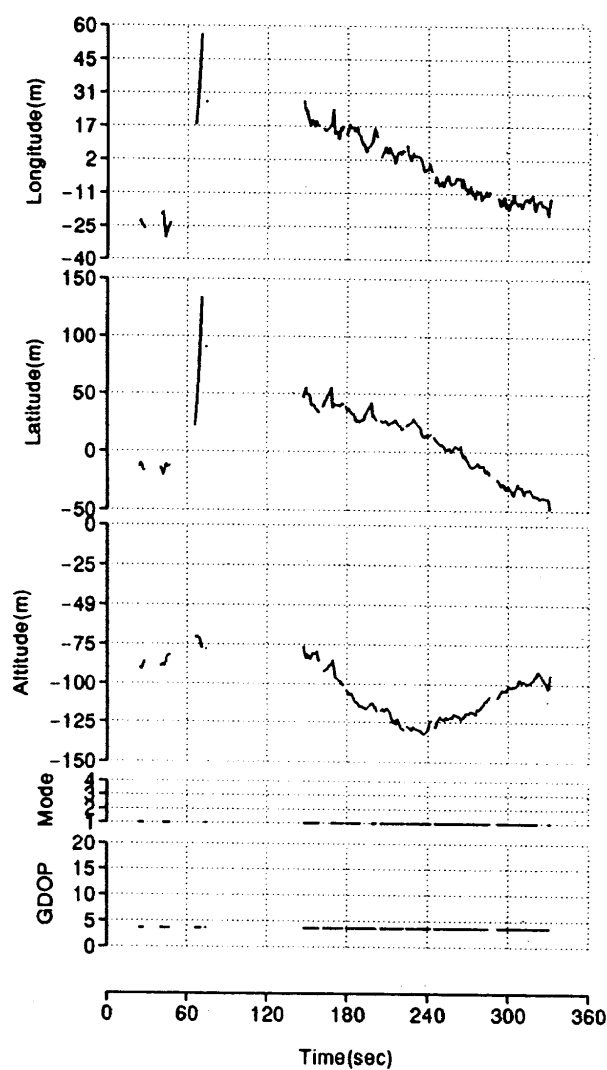
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

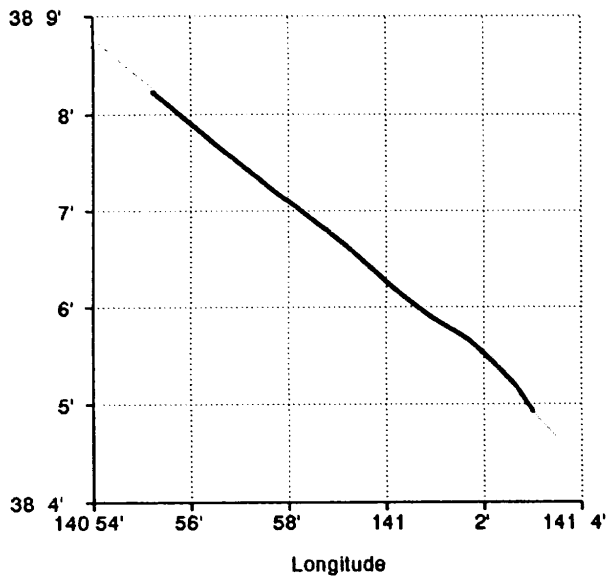


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

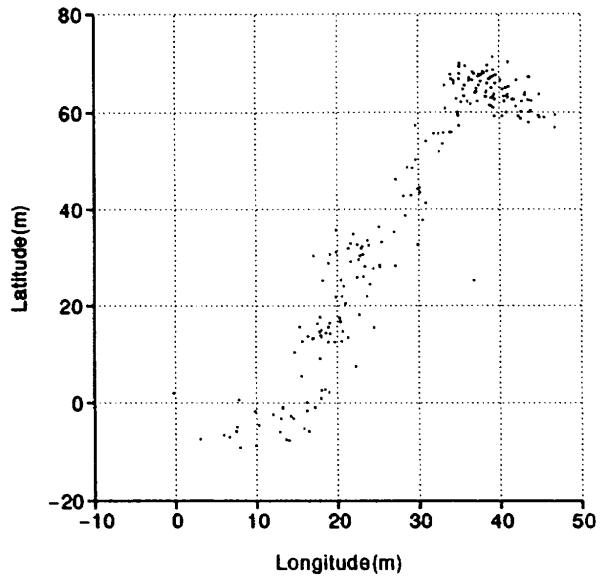


(2-b) Diff. TIME HISTORY

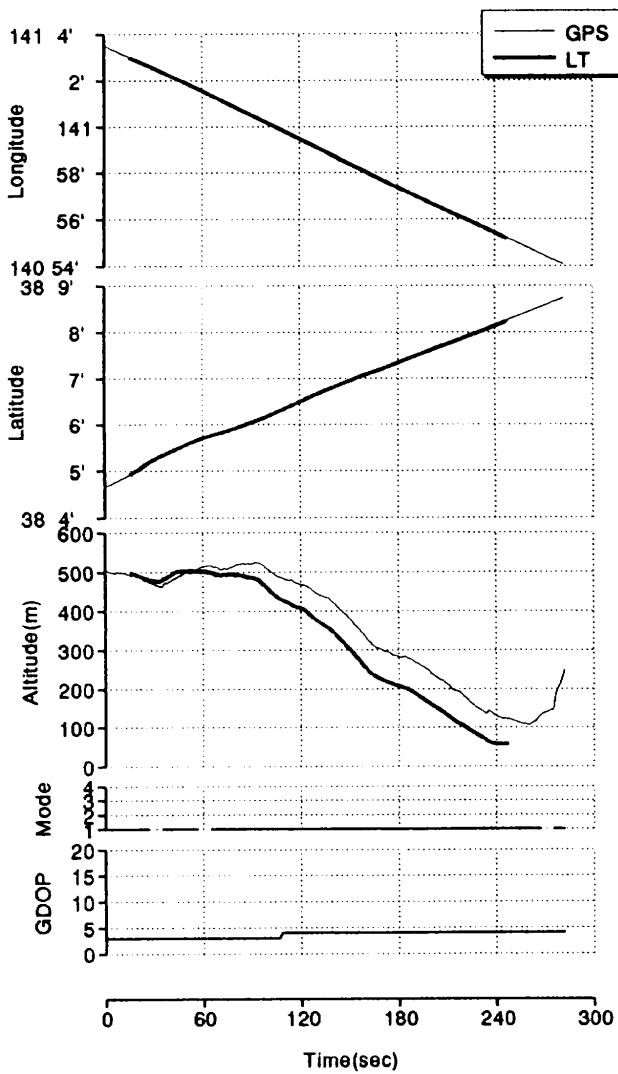
図 4.59 F17C04(SA-4) 実験結果



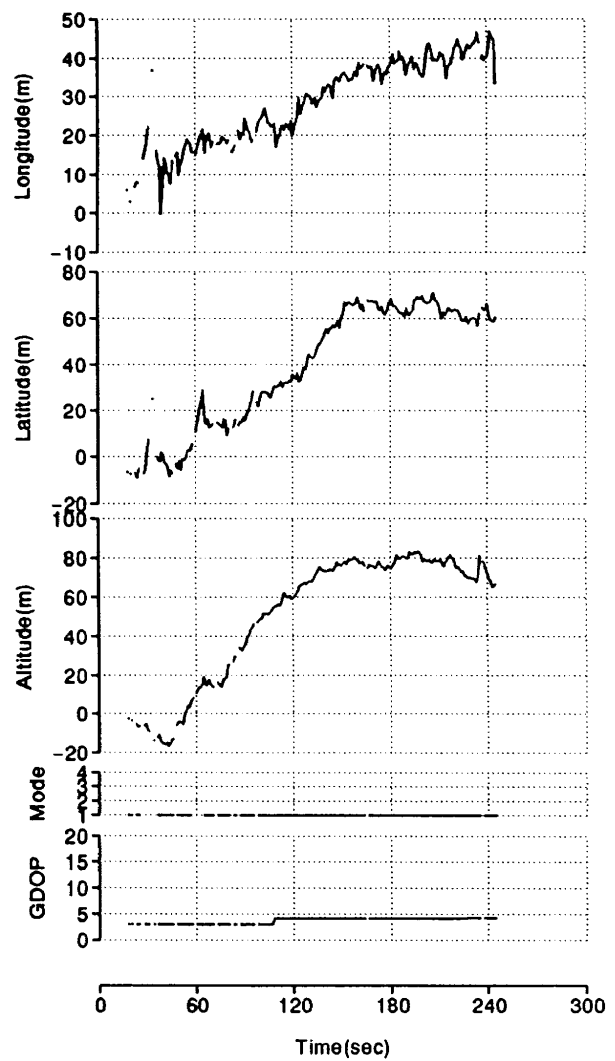
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

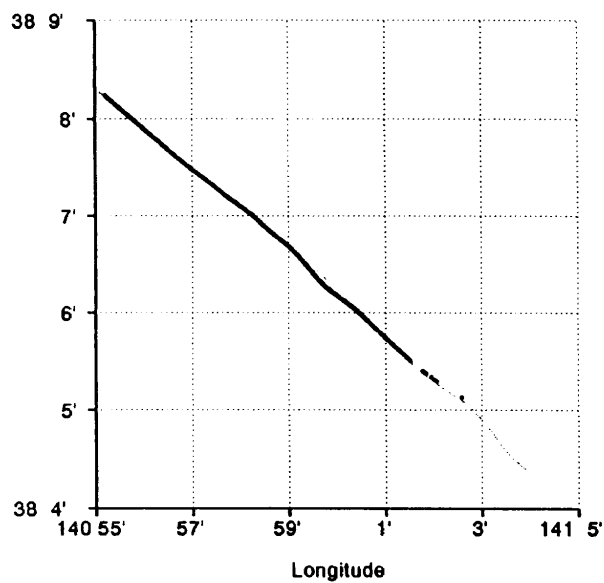


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

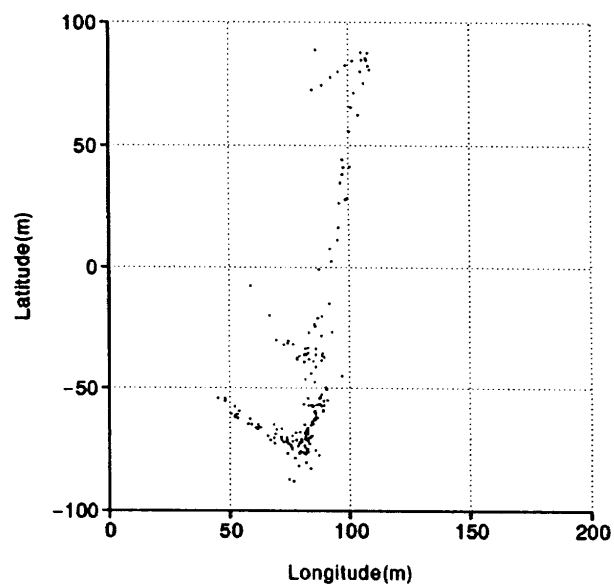


(2-b) Diff. TIME HISTORY

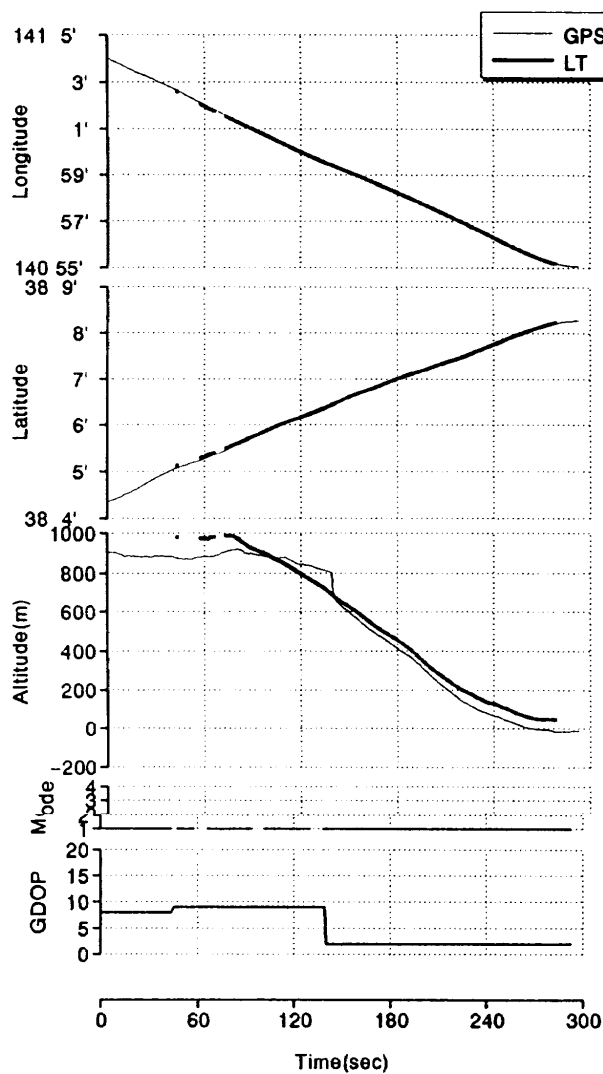
図 4.60 F17C05(A-1) 実験結果



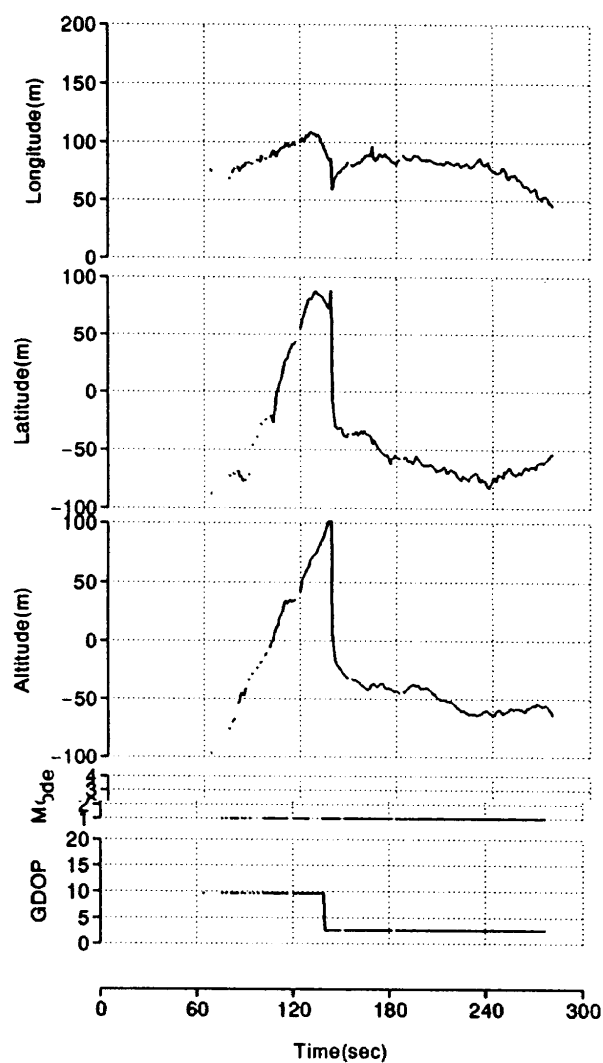
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

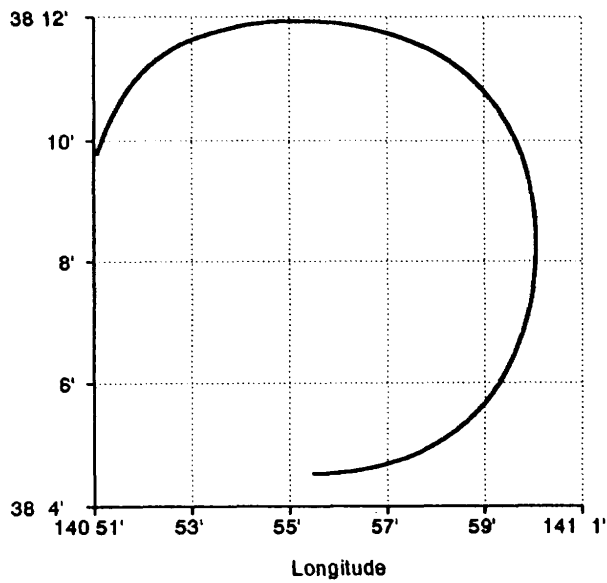


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

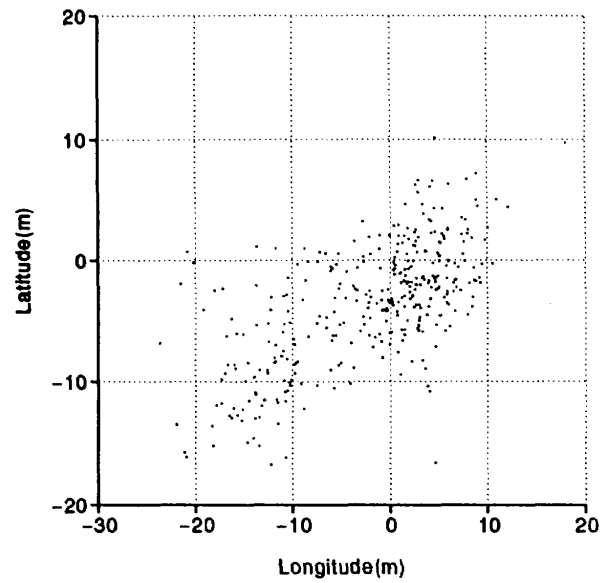


(2-b) Diff. TIME HISTORY

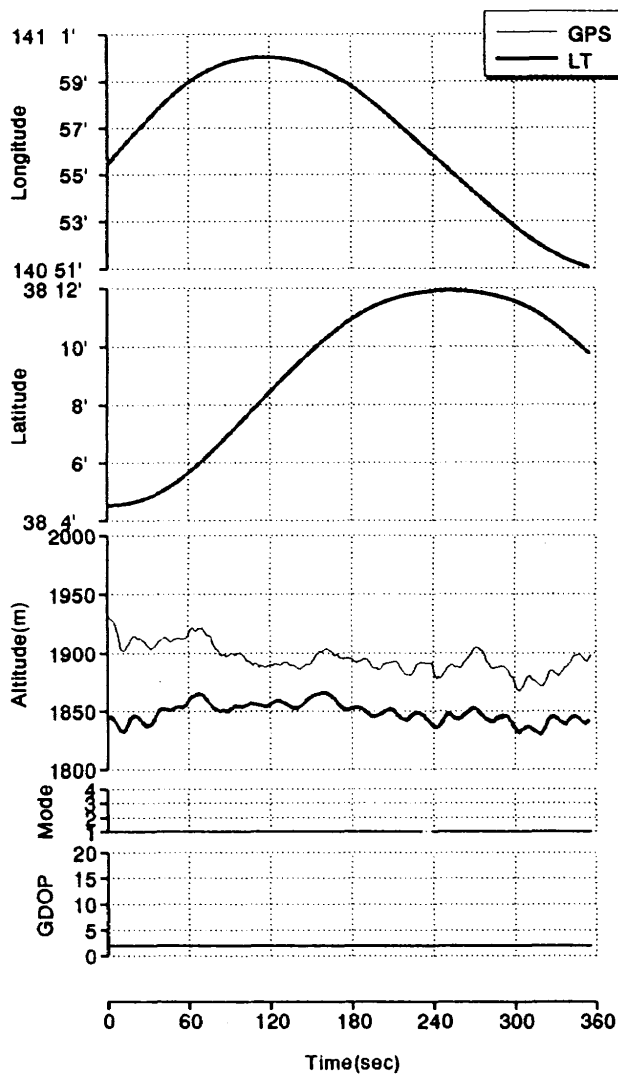
図 4. 61 F17C06(SA-3) 実験結果



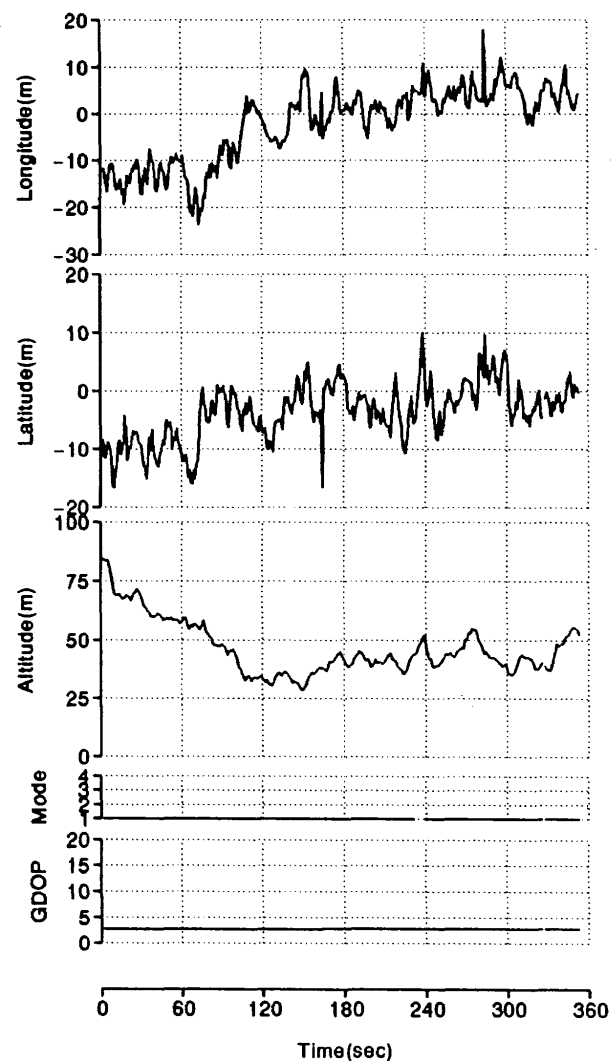
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

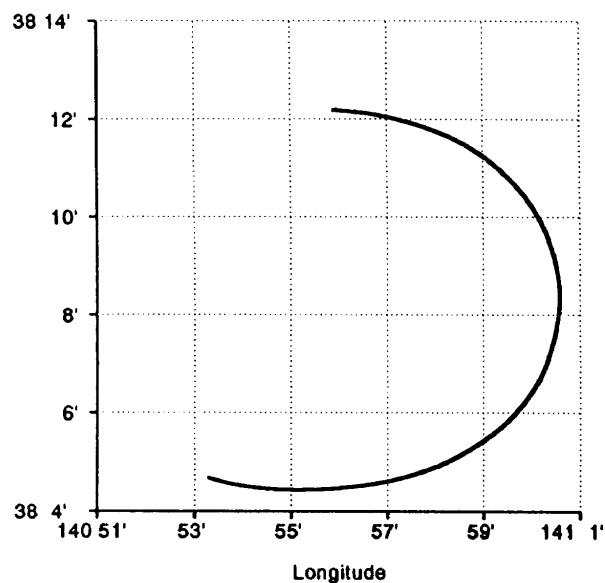


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

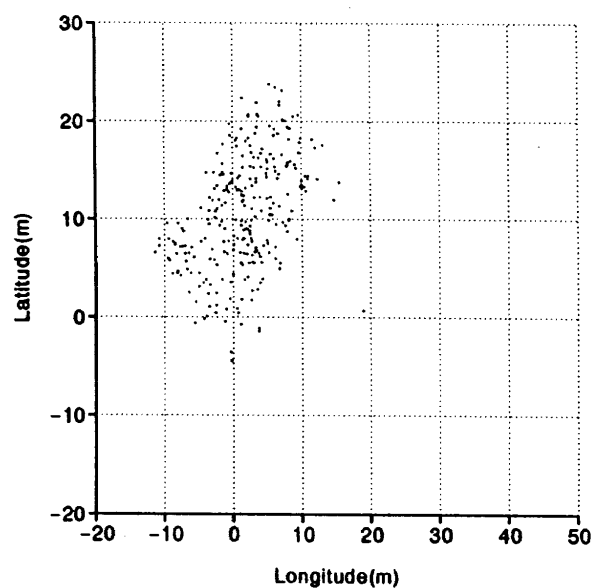


(2-b) Diff. TIME HISTORY

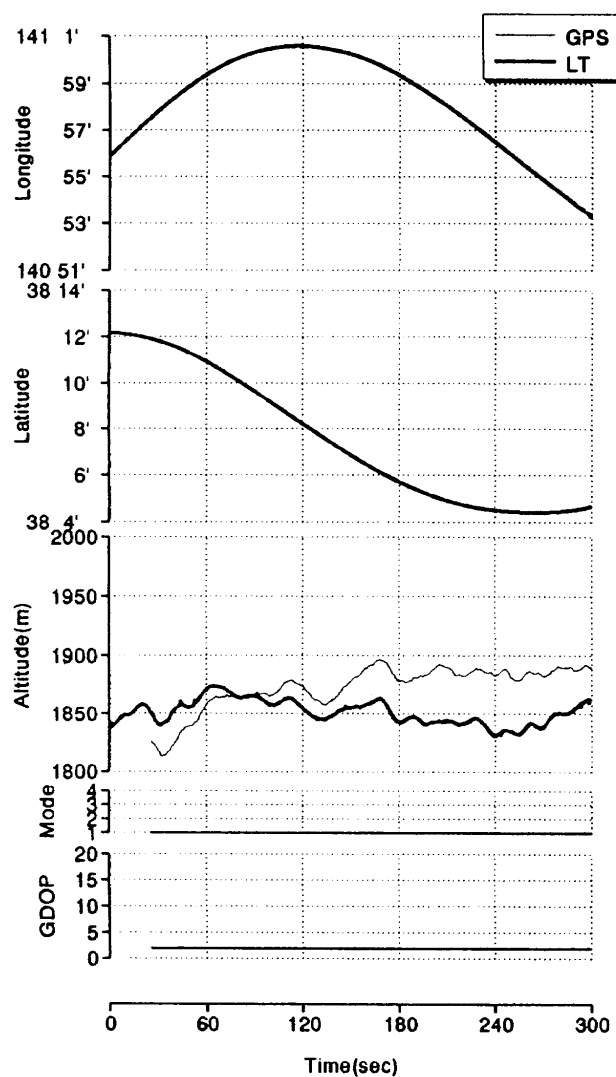
図 4.62 F18C01A (O-3) 実験結果



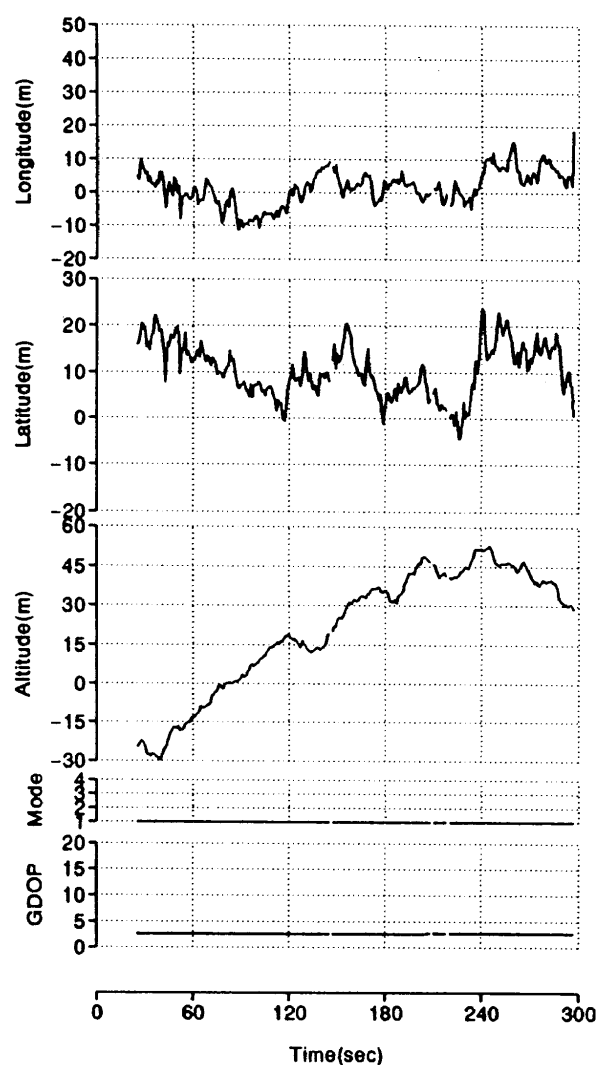
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

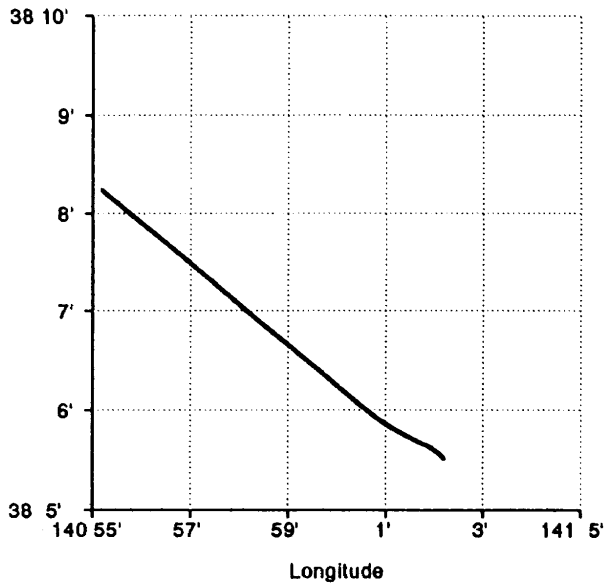


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

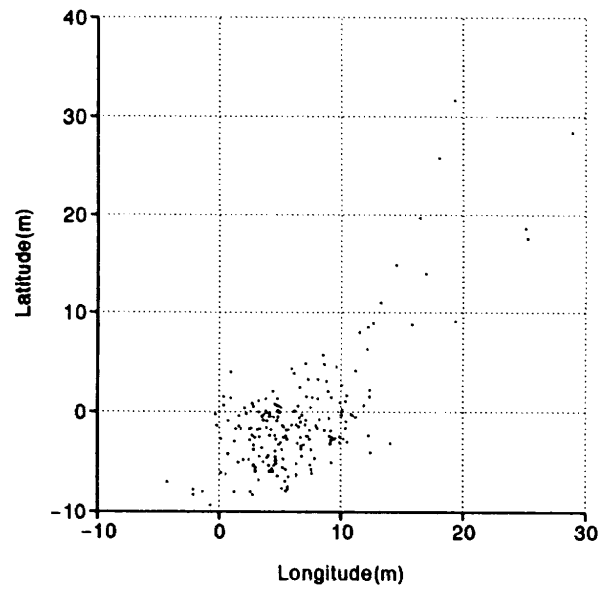


(2-b) Diff. TIME HISTORY

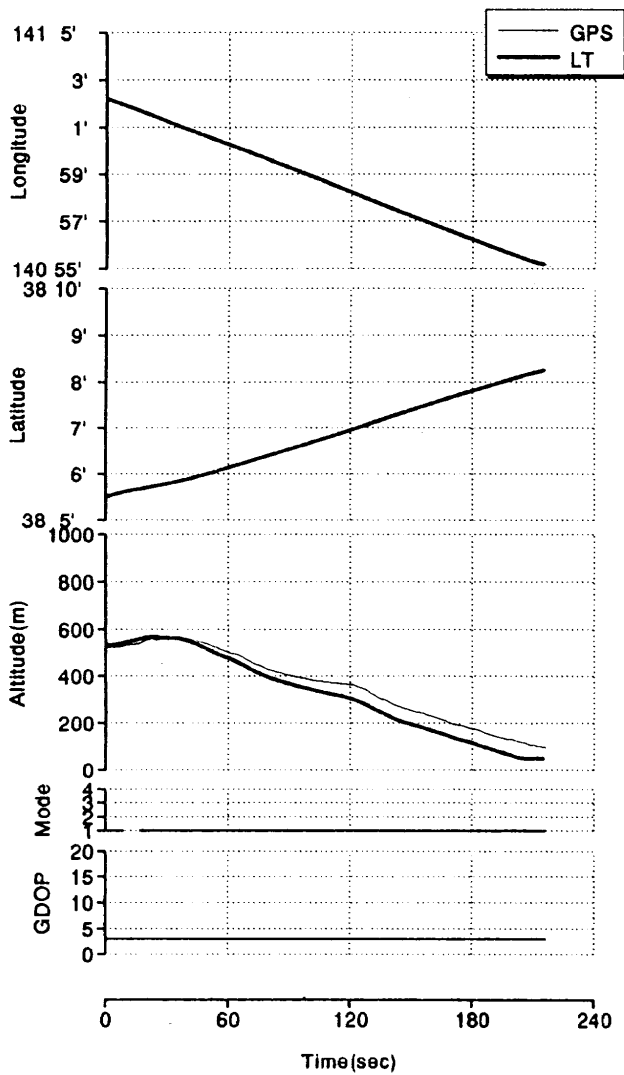
図 4.63 F18C01B(O-3) 実験結果



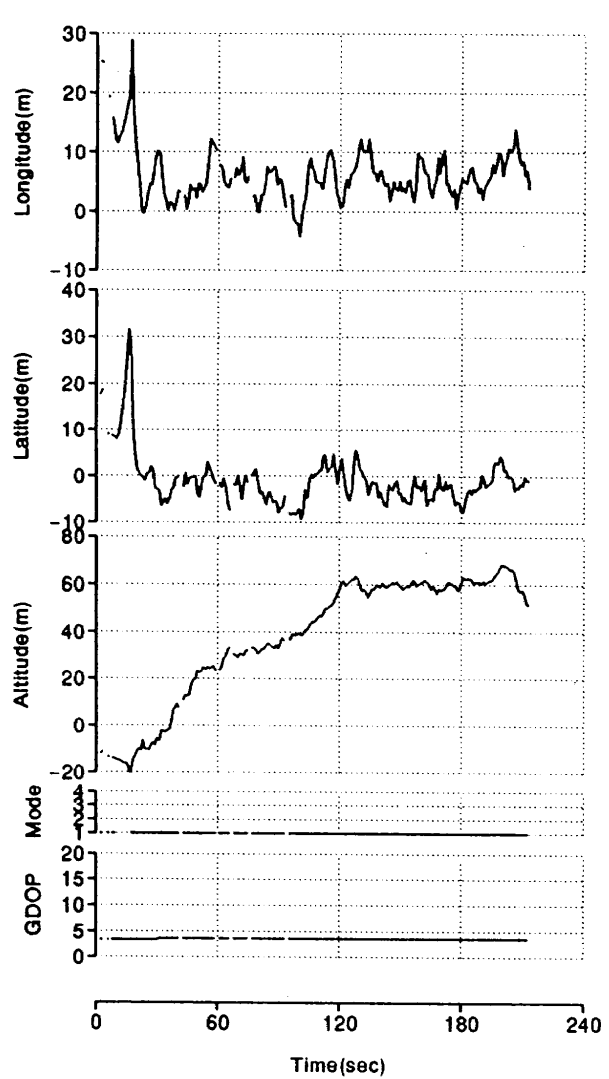
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

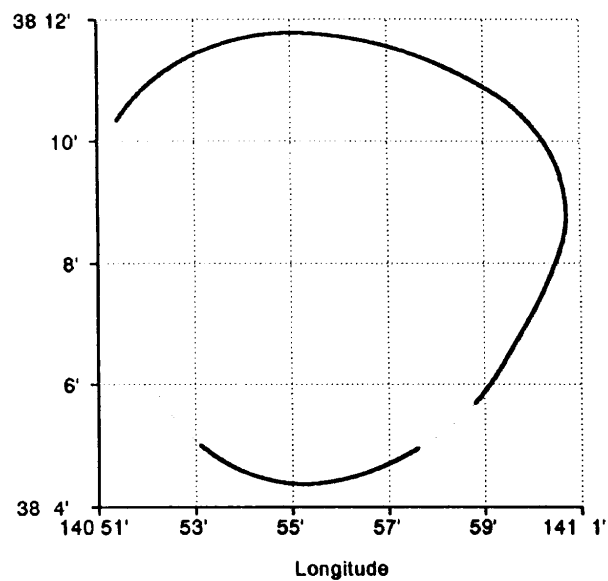


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

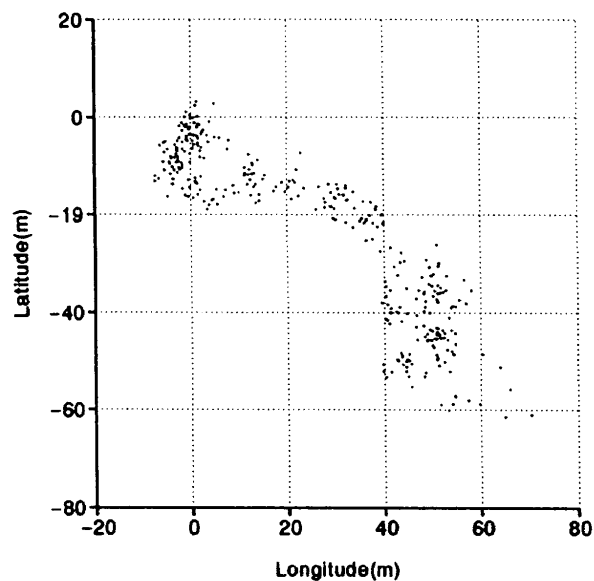


(2-b) Diff. TIME HISTORY

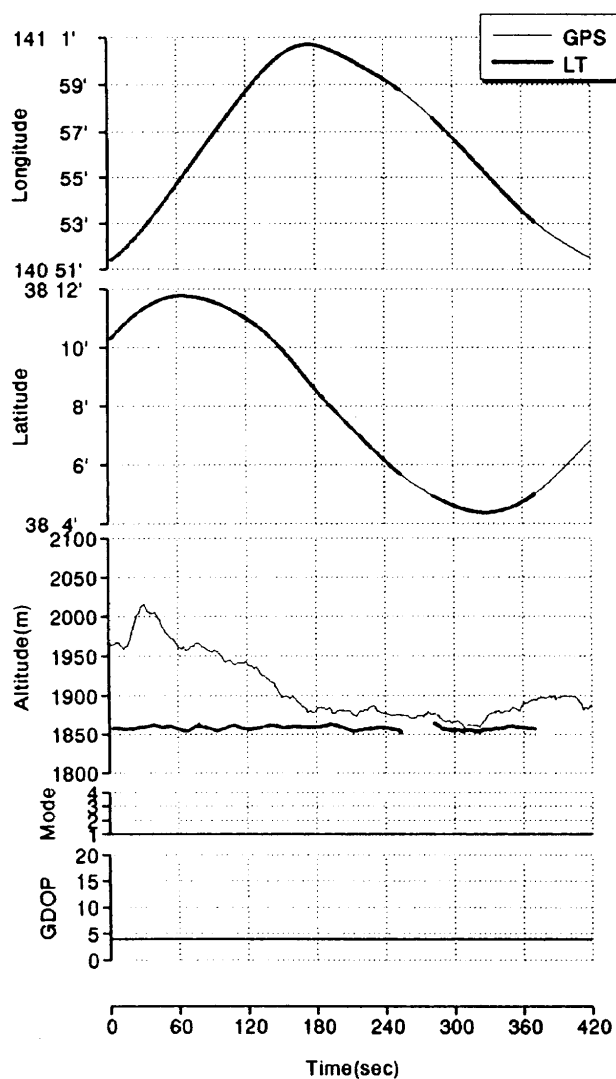
図 4.64 F18C01C(SA-4) 実験結果



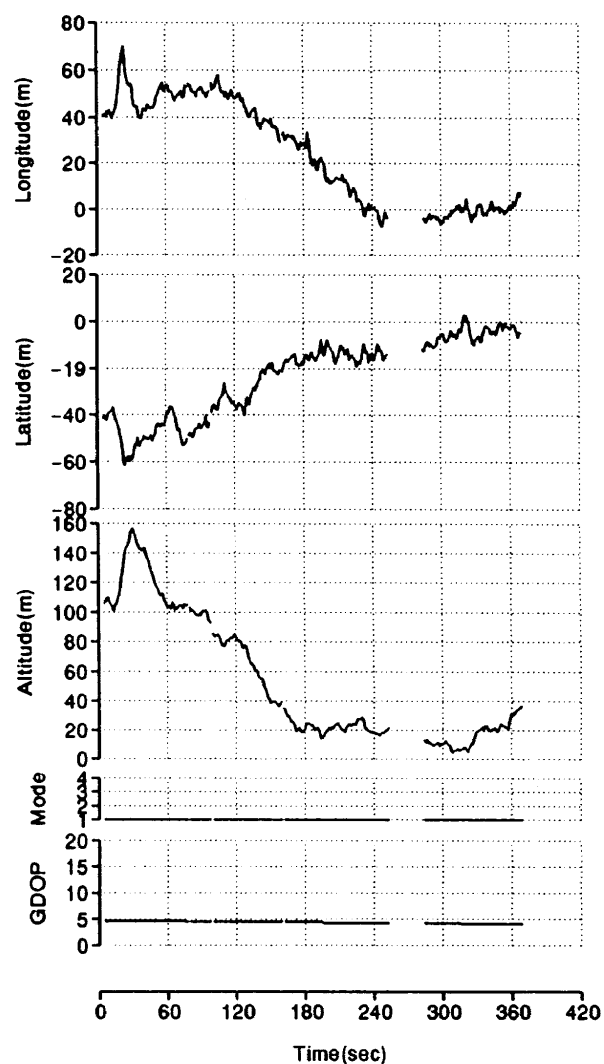
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

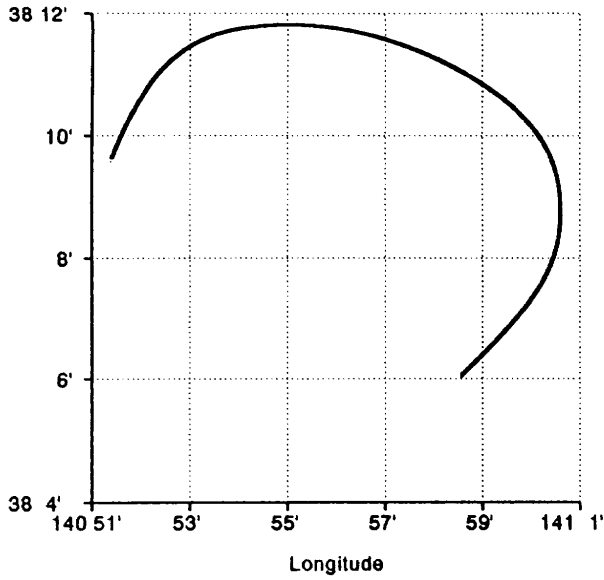


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

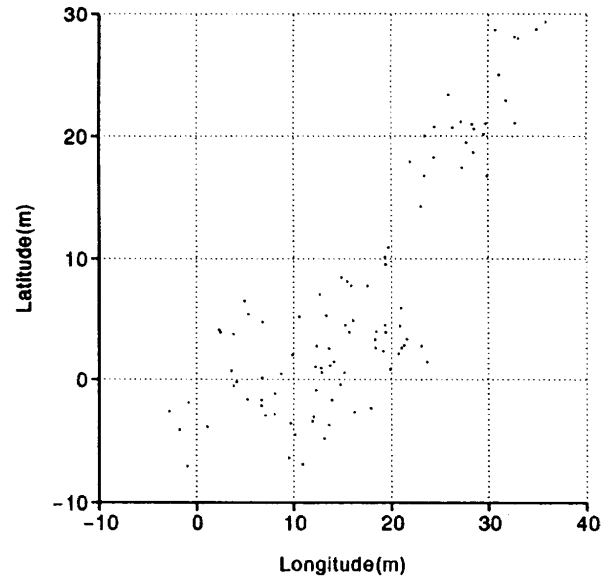


(2-b) Diff. TIME HISTORY

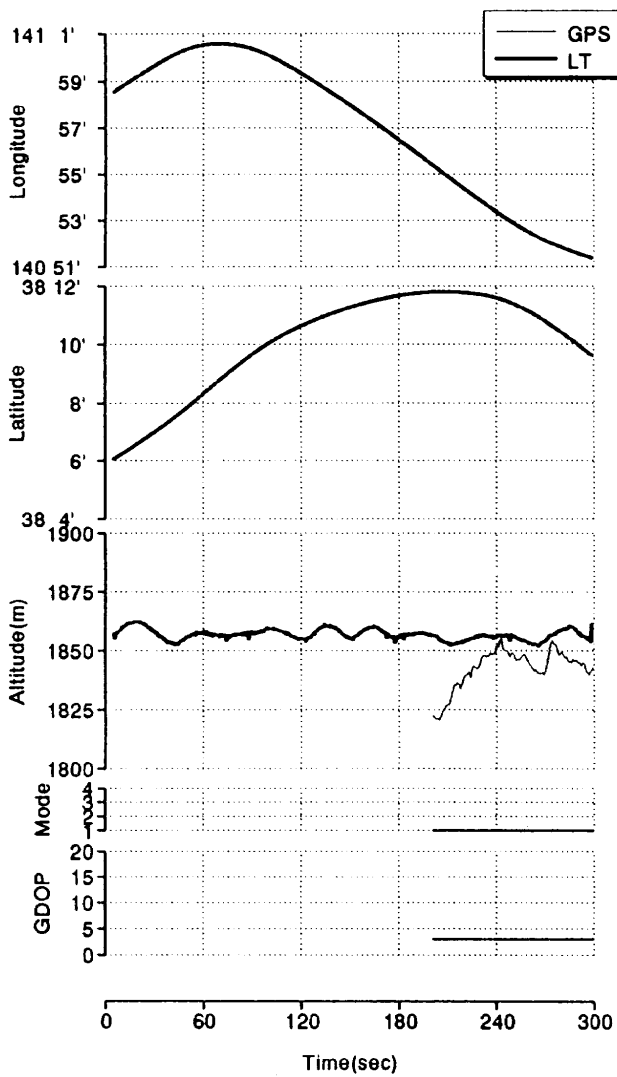
図 4.65 F19C01A (O-3) 実験結果



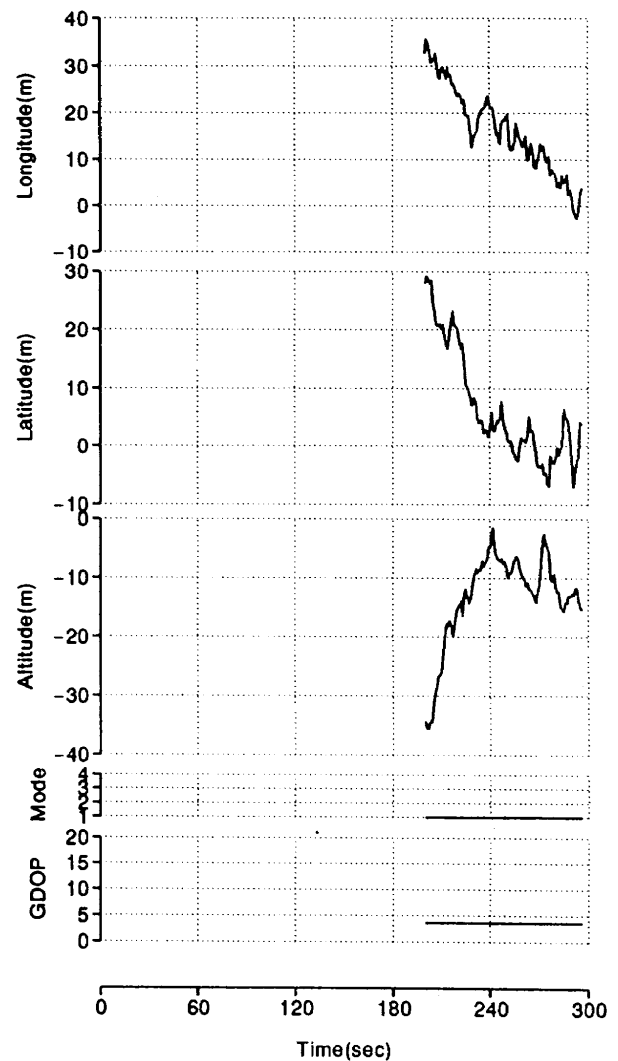
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y

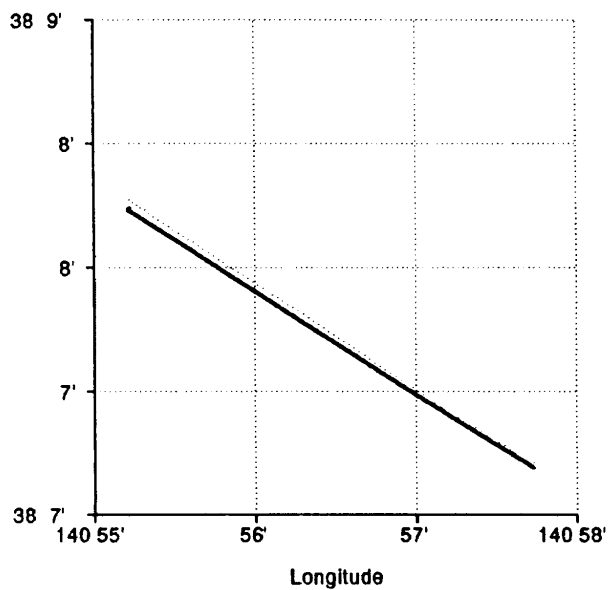


(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY

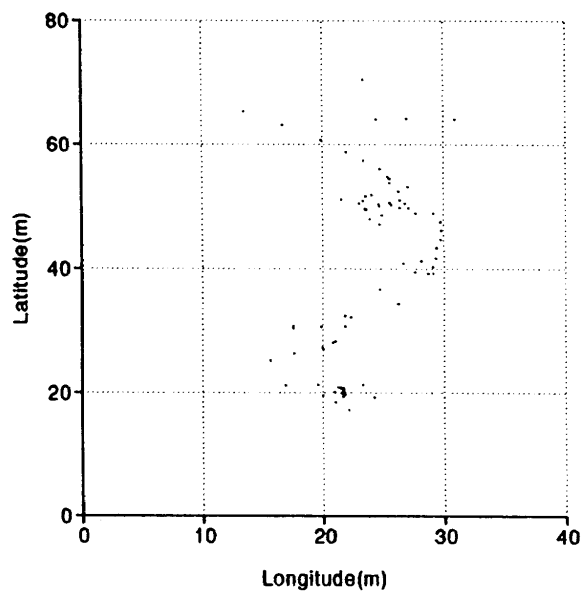


(2-b) Diff. TIME HISTORY

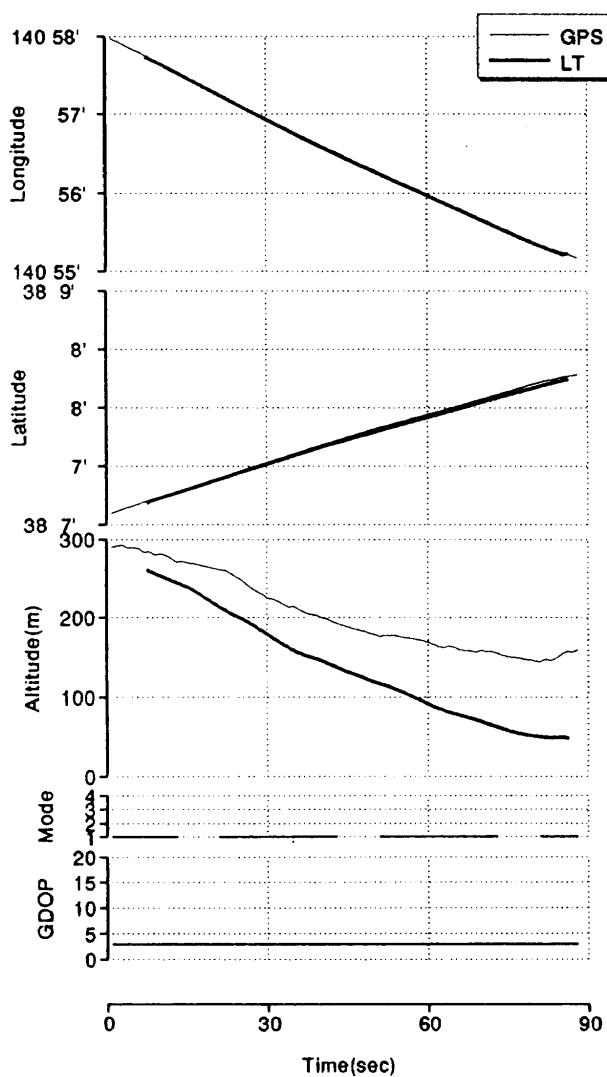
図 4.66 F19C01B(O-3) 実験結果



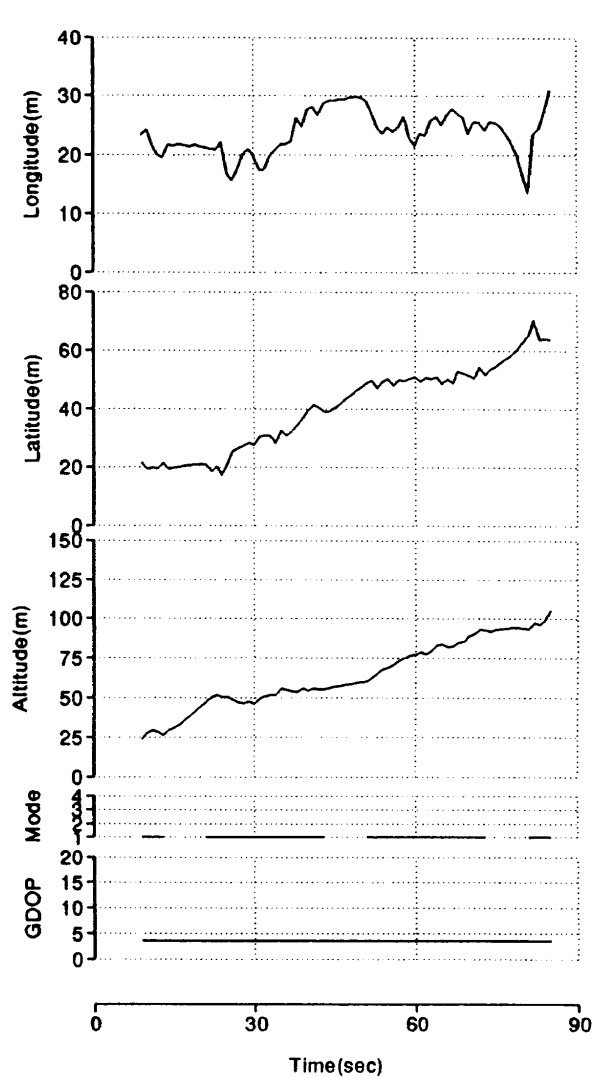
(1-a) LON.-LAT.



(2-a) Diff.X-Y



(1-b) GPSvsLT TIME HISTORY



(2-b) Diff. TIME HISTORY

図 4.67 F19C01C(A-1) 実験結果

表 3 GPS/DGPS 測位精度 (続く)

Fig.	NAME	Number	GPSTIME (sec)	TCGTIME (sec)	Mode	GDOP			LONGITUDE(m)			LATITUDE(m)			HORIZON(m)			ALTITUDE(m)			LENGTH(m)					
						2D	Min.	Avg.	Max.	AVG	STD	RMS	AVG	STD	RMS	AVG	STD	RMS	AVG	STD	RMS	AVG	STD	RMS		
4.1	F01C02	110	352400.0	39316.460	110	0	4.5	4.6	4.7	9.9	3.2	10.5	-1.3	6.4	6.5	12.0	2.7	12.4	-7.9	6.6	10.3	15.5	4.2	16.2		
4.2	F01C04	54	354000.0	40856.520	8	0	7.2	7.2	7.2	1.3	2.7	3.0	25.3	6.2	26.3	25.5	6.2	26.5	6.9	2.6	7.4	26.6	6.1	27.5		
4.3	F01C05	152	354818.0	41656.500	152	0	3.1	3.2	3.2	1.5	2.7	3.1	8.9	8.0	12.0	11.2	5.2	12.4	-13.0	11.6	17.6	19.8	8.2	21.5		
4.4	F01C06	176	355645.3	42443.570	37	0	2.0	3.0	3.5	2.8	4.3	5.1	-9.4	7.4	12.0	11.5	6.0	13.0	-4.4	17.1	17.8	20.8	7.2	22.1		
4.5	F02C03	221	370150.0	56895.500	221	0	3.4	3.5	3.5	13.9	3.4	14.3	-16.6	4.7	17.3	22.1	4.0	22.5	-34.2	17.3	38.4	41.8	15.1	44.5		
4.6	F03C02	95	437700.0	38235.790	95	0	3.5	3.5	3.6	15.7	4.3	16.4	-16.6	5.7	3.9	6.9	17.1	4.6	17.8	1.1	4.7	4.8	17.8	4.7	18.5	
4.7	F03C03	145	439820.0	40303.860	0	145	0	3.9	3.9	3.9	6.7	17.2	18.4	-14.4	7.7	16.3	21.1	12.7	24.7	-17.8	23.2	29.4	29.7	24.2	38.4	
4.8	F03C04	106	441530.0	41999.940	2	0	104	0	3.4	3.4	3.4	16.6	5.5	17.5	-20.4	11.6	23.6	28.8	5.3	29.4	-30.3	10.7	32.3	42.2	10.4	43.7
4.9	F04C04	174	455152.4	55524.250	174	0	0	5.9	6.2	6.6	16.2	5.3	17.1	-27.7	7.5	28.8	32.7	7.2	33.5	-3.5	9.3	9.9	34.3	6.2	35.0	
4.10	F04C05	39	455846.4	56202.290	39	0	0	3.9	4.0	4.1	58.3	78.3	98.1	13.9	44.7	46.8	70.1	82.3	108.7	-86.4	173.0	193.9	138.8	172.1	222.3	
4.11	F05C03	225	516984.8	30419.190	2	0	223	0	3.5	3.5	3.6	-9.6	3.4	10.2	-16.8	5.7	17.8	19.7	5.4	20.5	12.4	11.8	17.2	25.3	8.5	26.8
4.12	F05C04	195	517658.6	31091.200	2	0	193	0	4.3	4.3	4.4	-6.1	4.5	7.7	-23.8	17.6	29.7	26.7	15.0	30.7	6.0	31.6	32.2	39.1	21.1	44.5
4.13	F05C05	86	518250.3	31712.170	78	0	8	4.0	7.7	8.2	-6.5	27.0	27.8	-51.5	149.0	157.7	58.7	148.8	160.1	11.3	44.7	46.2	61.9	154.6	166.7	
4.14	F05C06	167	518935.0	32389.710	167	0	0	9.8	9.8	9.8	-17.6	4.4	18.2	20.0	12.3	23.5	28.2	9.3	29.8	-12.2	6.3	13.7	31.2	9.8	32.8	
4.15	F05C07	170	519562.0	33067.140	170	0	0	4.6	4.6	4.6	11.1	3.4	11.6	43.5	4.8	43.9	45.0	4.7	45.4	-12.3	8.1	14.8	47.2	6.1	47.8	
4.16	F05C08	159	520600.0	34139.060	2	0	157	0	4.6	4.6	4.6	23.3	7.4	24.5	-8.9	6.8	11.3	25.8	7.6	27.0	30.2	9.4	31.8	40.6	8.9	41.7
4.17	FX2C04	163	197800.0	57564.770	163	0	0	5.7	5.7	5.7	-1.2	8.3	8.4	5.6	4.8	7.4	8.7	7.0	11.2	42.0	5.4	42.5	43.4	6.2	43.9	
4.18	FX2C05	169	198605.1	58344.790	169	0	0	7.0	8.5	9.2	-2.5	6.7	7.2	9.2	5.4	10.7	12.0	4.7	12.9	64.1	12.7	65.5	65.5	12.4	66.8	
4.19	FX2C06	71	199300.0	59108.630	71	0	0	19.0	22.8	26.0	-8.1	3.7	9.0	30.6	5.4	31.3	31.9	5.7	32.6	279.8	23.2	282.7	281.6	23.6	284.6	
4.20	F06C03	141	263460.0	36878.540	141	0	0	3.6	3.6	3.6	9.9	6.3	11.8	20.0	4.9	20.7	22.8	6.4	23.8	9.4	6.9	11.7	25.8	5.9	26.5	
4.21	F06C04	58	264280.2	37619.730	58	0	0	3.7	3.7	3.7	7.8	2.9	8.4	16.5	3.6	17.0	18.5	3.3	19.0	-1.1	4.1	4.1	18.9	3.5	19.4	
4.22	F06C05	50	265290.0	38658.730	50	0	0	3.6	3.6	3.6	4.8	11.7	12.7	10.1	3.0	10.7	12.2	11.0	16.6	2.2	3.3	4.0	13.0	10.9	17.1	
4.23	F06C06	243	266085.0	39385.670	243	0	0	3.4	3.4	3.4	3.0	3.3	4.5	6.0	4.6	7.6	7.8	4.2	8.9	4.5	7.9	9.1	12.3	3.1	12.7	
4.24	F08C02	47	348485.0	35357.290	47	0	0	3.2	3.2	3.2	7.2	6.3	9.7	-2	3.9	4.0	8.5	6.0	10.5	-7.8	6.5	10.2	12.2	7.9	14.7	
4.25	F08C03	158	349110.0	36064.250	158	0	0	3.4	3.4	3.5	17.8	5.3	18.6	18.6	7.6	20.2	26.2	7.9	27.5	31.2	8.3	32.4	41.4	9.0	42.5	
4.26	F08C04	124	350200.0	37106.230	124	0	0	3.7	3.7	3.7	5.6	4.0	6.9	6.9	3.8	7.9	9.4	4.6	10.5	-2.2	5.3	5.3	11.0	4.3	11.8	
4.27	F08C05	150	351124.0	38012.320	150	0	0	3.7	3.7	3.7	11.3	6.6	13.1	6.4	7.7	10.1	14.2	8.3	16.5	-16.1	8.8	18.4	22.2	10.7	24.8	
4.28	F08C06	242	352848.0	39719.480	242	0	0	3.3	3.3	3.3	17.2	7.3	18.8	5.7	8.9	10.6	20.6	6.2	21.6	-12.2	6.0	13.6	24.7	6.2	25.5	
4.29	F09C01A	37	360954.0	47826.620	37	0	0	5.4	5.4	5.4	-2664.0	1189.7	2951.2	3991.8	197.1	4051.7	4891.0	734.1	5012.6	48.4	4.3	49.2	4891.3	734.1	5012.8	
4.30	F09C01B	683	361095.0	47967.620	683	0	0	5.5	6.4	7.8	14.3	9.0	16.9	3.6	19.1	19.4	22.4	12.7	25.8	28.4	12.7	31.2	38.3	13.0	40.5	
4.31	F09C01C	226	362454.0	49327.620	226	0	0	5.4	5.8	7.2	15.4	6.8	16.9	7.4	5.9	9.5	17.6	8.1	19.4	-23.4	11.4	26.1	31.3	8.8	32.6	
4.32	F10C02	22	438906.0	39353.850	22	0	0	3.3	3.3	3.3	17.4	24.8	30.5	6.3	9.1	11.1	21.7	23.7	32.5	-1.4	6.5	6.7	23.7	22.6	33.2	
4.33	F10C03	138	439800.0	40369.720	138	0	0	4.2	4.2	4.2	-3.5	5.5	6.6	-2.3	5.6	6.0	6.8	5.8	9.0	-7.9	6.4	10.2	12.8	4.4	13.6	
4.34	F10C04	58	440518.0	40985.830	58	0	0	3.0	5.1	5.3	7.7	8.6	8.7	7.5	15.9	17.6	10.0	16.9	19.7	-7.4	32.2	33.3	16.8	34.8	38.7	
4.35	F10C05	83	441379.0	41873.800	83	0	0	9.0	9.0	9.0	-9.9	5.9	11.6	3.4	4.7	5.8	11.3	6.3	13.0	21.0	21.8	30.5	27.2	18.7	33.1	
4.36	F10C06	266	442250.0	42710.630	266	0	0	3.1	3.1	3.1	-2.2	2.4	3.2	5.2	6.1	8.0	7.1	4.9	8.7	-3.4	5.9	6.8	9.9	4.9	11.1	
4.37	F11C01A	150	196050.0	55753.580	0	150	0	5.0	6.1	6.3	9.9	9.7	13.9	14.1	23.5	27.4	26.6	15.2	30.8	16.9	22.1	27.8	36.8	19.0	41.5	
4.38	F11C01B	45	196620.0	56396.510	45	0	0	5.1	5.1	5.2	12.8	3.1	13.3	17.3	5.2	18.2	21.8	4.8	22.6	-3.5	2.8	4.6	22.3	4.9	23.1	
4.39	F11C01C	108	197520.0	57222.590	0	108	0	18.0	27.5	46.0	-13.7	14.3	19.9	-81.6	41.5	91.9	85.6	37.9	94.0	-111.9	41.5	119.9	142.8	51.3	152.4	
4.40	F12C03	151	343610.0	30575.590	151	0	0	4.4	4.4	4.5	13.2	2.9	13.6	-4.0	4.7	6.2	14.6	3.0	15.0	-1.6	5.5	5.8	15.8	2.8	16.1	
4.41	F12C04	72	344495.0	31351.830	72	0	0	4.2	4.2	4.2	35.4	4.5	35.9	-16.8	3.5	17.3	39.3	4.7	39.9	-7.9	5.3	9.6	40.5	3.9	41.0	
4.42	F12C05	5	344930.0	31825.870	5	0	0	4.3	4.3	4.3	-21.4	3.1	24.1	-52.0	4.2	58.3	56.4	3.2	63.1	-2.0	6.9	7.3	56.8	3.1	63.6	
4.43	F12C06	189	345810.0	32669.990	189	0	0	4.3	6.1	9.5	34.1	6.4	34.8	-12.2	5.2	13.3	36.8	5.3	37.2	-10.6	25.7	27.9	45.0	11.2	46.5	
4.44	F12C07	225	346850.0	33699.220	225	0	0	6.6	6.6	6.6	40.8	7.8	41.6	-14.5	6.3	15.9	43.7	8.2	44.6	26.1	15.6	30.5	52.8	10.6	54	

表 3 (続き) GPS/DGPS 測位精度

Fig.	NAME	Number	GPSTIME (sec)	TCGTIME (sec)	Mode	GDOP			LONGITUDE (m)			LATITUDE (m)			HORIZON (m)			ALTITUDE (m)			LENGTH (m)					
						2D	3D	25	Min.	Avg.	Max.	STD	AVG	RMS	STD	AVG	RMS	STD	AVG	RMS	STD	AVG	RMS	STD	AVG	RMS
1.49	F15C03	171	258174.0	31479.380	0	0	171	0	4.7	4.8	4.9	1032.0	4.3	1035.1	-540.5	11.3	542.2	1165.1	7.6	1168.5	-806.9	19.3	809.5	1417.4	7.4	1421.6
1.50	F15C04	77	259131.0	32407.560	0	0	77	0	3.9	3.9	3.9	1000.4	4.4	1007.0	-445.7	6.4	448.7	1095.3	2.8	1102.5	-818.5	12.3	823.9	1367.4	7.8	1376.3
1.51	F15C05	212	259638.0	32868.600	212	0	0	0	3.4	3.5	3.5	816.1	23.1	818.3	-443.0	17.1	444.3	928.9	13.6	931.2	-735.7	43.2	738.8	1185.3	36.7	1188.7
1.52	F15C06	246	260850.0	34112.850	0	0	246	0	4.1	4.2	4.4	703.9	10.4	705.4	796.9	6.9	798.6	1063.4	6.5	1065.5	4.0	38.0	38.2	1064.0	6.6	1066.2
1.53	F15C07	158	261930.0	35269.960	4	0	154	0	3.0	3.8	7.1	818.2	37.6	821.6	389.5	628.0	739.7	1031.3	389.8	1105.6	163.9	490.0	517.2	1109.4	501.1	1220.6
1.54	F16C01A	300	270960.0	44192.130	2	0	298	0	2.9	2.9	3.0	36.7	17.6	40.7	-17.0	13.0	21.5	43.2	15.7	46.1	57.3	16.7	59.9	73.3	17.8	75.5
1.55	F16C01B	126	271610.0	44885.090	0	0	126	0	3.3	3.3	3.3	16.5	44.8	47.8	-9.6	46.3	62.5	47.3	24.2	67.3	-42.6	90.5	100.1	102.6	62.7	120.7
1.56	F16C01C	50	272090.0	45329.130	0	0	50	0	3.3	3.3	3.3	28.3	9.4	30.2	32.1	13.0	35.0	45.1	7.8	46.2	55.3	2.2	55.9	71.6	5.1	72.5
1.57	F16C01D	200	272639.0	45870.130	200	0	0	0	3.1	3.8	5.6	4.0	18.1	18.6	15.2	38.9	41.7	34.4	30.0	45.7	11.0	73.5	74.7	79.2	37.0	87.6
1.58	F17C01	63	344100.0	31006.510	63	0	0	0	3.3	3.3	3.3	15.9	8.2	18.0	-40.7	5.1	41.3	44.5	4.3	45.1	-4.6	25.5	25.9	49.8	13.5	52.0
1.59	F17C04	195	345750.0	32612.810	195	0	0	0	3.6	3.6	3.7	-3	15.3	15.3	8.9	30.9	32.1	30.8	17.6	35.6	-107.1	16.0	108.6	113.3	12.8	114.3
1.60	F17C05	212	346975.0	33832.010	212	0	0	0	3.0	3.7	4.3	28.9	10.8	30.9	40.4	25.6	47.9	51.2	24.8	57.1	52.4	31.7	61.4	75.6	36.0	83.9
1.61	F17C06	195	348360.0	35244.210	195	0	0	0	2.6	4.6	9.7	81.7	12.4	82.9	-38.6	47.3	61.1	101.8	13.5	103.0	-28.8	43.2	52.0	113.7	17.9	115.4
1.62	F18C01A	351	358262.0	45101.800	351	0	0	0	2.7	2.8	2.9	-2.0	8.0	8.2	-3.5	4.9	6.0	8.5	5.6	10.2	46.4	11.3	47.8	47.4	11.9	48.9
1.63	F18C01B	270	357750.0	44612.780	270	0	0	0	2.6	2.6	2.7	1.5	5.3	5.5	10.6	5.7	12.0	12.1	5.4	13.3	21.1	23.7	31.8	31.8	13.2	34.5
1.64	F18C01C	204	359228.0	46067.800	204	0	0	0	3.4	3.6	3.7	6.3	4.6	7.8	-7	5.8	5.8	8.0	5.6	9.8	38.4	26.1	46.5	43.5	19.0	47.5
1.65	F19C01A	332	430780.0	31231.020	332	0	0	0	4.2	4.4	4.6	25.7	22.3	34.1	-23.8	17.2	29.4	36.6	26.1	45.0	54.9	44.0	70.4	66.8	50.1	83.6
1.66	F19C01B	97	431430.0	32075.830	97	0	0	0	3.7	3.7	3.7	16.4	9.3	18.9	6.6	9.7	11.8	19.1	11.4	22.3	-13.1	7.7	15.3	24.0	12.3	27.1
1.67	F19C01C	77	432550.0	33005.020	77	0	0	0	3.7	3.7	3.7	23.6	3.7	24.0	40.4	14.7	43.3	47.4	13.4	49.5	63.9	21.5	67.9	79.8	24.7	84.0

べる。これはLTとGPSデータの時刻が一致していなかったか、または、LTがトラッキング・ミスをしているときのデータである可能性が高い。また、フライト15 (F15)ではすべての実験ケースについて測位誤差が大きくなっている (図 4.11~4.16)。ただし、同フライトの着陸寸前のF15C07 (図 4.53) では前半部で測位精度が悪いものの、140秒付近でGPS衛星の組み合わせを変えた後では測位精度の向上が見られる。F15でGPS受信装置が捕捉したGPS衛星はすべてがBlock IIであった。それらのGPS衛星のいくつかが米国防総省でのSAの実験対象となっていた可能性があり、そのため精度が劣化したと考えられる。このような例は他にもF05C05 (図 4.13), F10C04 (図 4.34) でも見られ、何れも衛星の組み合わせが変化した後はGDOPの如何に関わらず測位精度の向上が見られた。

5. GPS 精度評価

5.1 GDOP による影響

GPS衛星の幾何学的配置GDOPに対する測位精度の影響について調べるために、第2回の実験 (FX2~F10) だけを取り上げて比較した (図 5)。第2回の実験ケースだけを取り上げたのは、GDOP以外のGPS測位精度に与える影響を少なくするのが目的である。第2回の実験 (1990年1月実施) はGPS衛星にSAはかかっておらず、また、DGPSも行っていないため、GPS受信機本来の精度を得られたと考えられる。航法精度の代表としてここでは距離のRMSを使った。図中の式と直線は、noSA条件下での測位精度を最小自乗法で直線近似したものである。このGDOPに対する測位精度の傾きは12.8mであった。マニュアルによると、測位精度はGDOPを14.14倍したもので代表される。直線から外れたデータのばらつきは、GPS衛星の種類やDo228の飛行方法の違いによる影響と考えられる。

先に述べたようにGPS衛星は製作・打ち上げ年度によりBlock IとBlock II衛星の2種類に分類できる。Block I衛星は人工的な誤差であるSAをかけることができない半面、衛星自体の老朽化で衛星内部で使用している原子時計の精度が悪くなっている。また、Block II衛星は新しいので原子時計の精度は保証されるがSAがかけられている。これらの衛星の種類の組み合わせによっても測位精度が異なることは容易に想像できる。本報告書ではこのGPS衛星の種類による航法精度への影響は特に考慮せずに行った。このGPS衛星の番号及び種類は付録Dに表示する。

5.2 着陸進入時の測位精度

着陸進入時におけるGPS/DGPSの測位精度を評価するために、GDOPは5以下の条件で、SA環境下での単独測位 (以下 Stand Alone), SA環境下でのDGPS測位 (以下 DGPS), 第2回の飛行実験で行ったSA無しでの単独測位

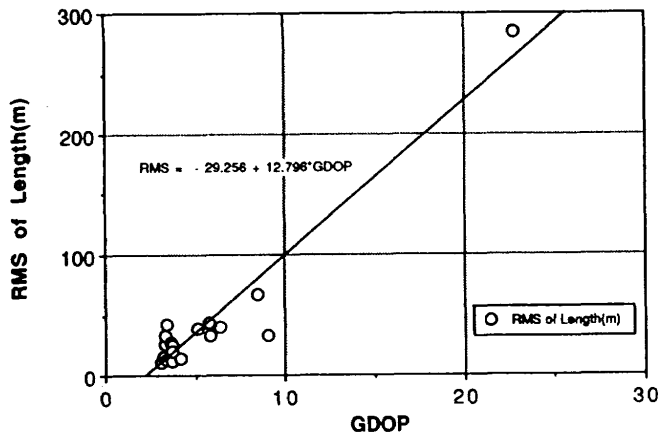


図5 GDOPの測位精度への影響

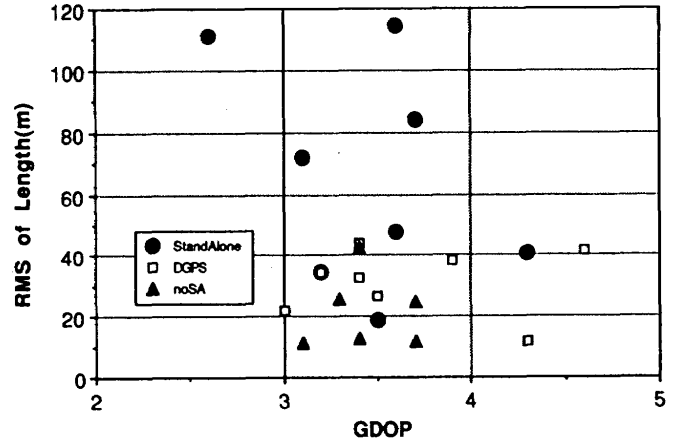


図6 着陸進入飛行での測位精度

表4 着陸進入飛行でのGPS測位精度

	データ数	平均 GDOP	RMS of Longitude(m)	RMS of Latitude(m)	RMS of Horizon(m)	RMS of Altitude(m)	RMS of Length(m)
Stand Alone	1193	3.5	27.6	30.6	42.8	55.8	74.8
DGPS	1315	3.7	11.5	18.9	23.2	25.8	34.9
no SA	1183	3.4	10.4	10.4	15.1	13.5	20.4

(以下 noSA)の3つのグループに分類した。GDOPが5以下の飛行実験ケースを選択するとき、データが少なくなったケースは評価の対象からはずしている(図6)。測位精度としての距離のRMSを使用した。noSA, DGPS, Stand Aloneの順番で測位精度が良い傾向がある。SAは人工的にかけられる誤差であり、その誤差の大きさは変化し得る。また、先に述べたようにSAがかからないGPS衛星もあるので、第2回の飛行実験以外でもnoSAと同じぐらい測位精度が良くなるケースが考えられる。しかし、3つのケースに分類するとき、第2回飛行実験以外の実験は、すべてSAがかかっているとして処理した。以上が、図中の精度のよいStand Aloneの理由と考えられる。この3つの測位方法に対しそれぞれの実験ケースの測位結果を平均し一覧表にまとめたものが、表4である。各測位方法での標本数及び平均GDOPはほぼ一致した。評価は経度・緯度・水平・高度・距離のRMSで行った。GPSで3次元測位した場合、水平面内より垂直の測位誤差の方が大きくなると言われている¹²⁾。しかし、表4ではHorizonとAltitudeでは大きな差はなく、noSAではむしろHorizonの方が大きな誤差となっている。この理由としてLTとGPSのデータ記録時間の遅れの差が考えられる。

つぎに、DGPSとSAによる測位精度への影響について述べる。まずDGPSによる測位精度への影響を調べるために、表4のStand AloneとDGPSのケースを比較する。DGPSはStand Aloneに対し距離にして39.9mよく、SA環境下でBSの補正データを送りDGPS測位を行うとGPS

単独測位の時よりも測位精度が向上することを示している。つぎにSAによる影響を調べるために、表4のStand AloneとnoSAの距離誤差を比較する。SA環境下での単独測位はSAがない場合に対し、距離誤差にして54.4m精度が悪くなった。

以上の結果より、SA環境下ではDGPSは有効であることが示されたが、DGPS測位結果とSA無しでの単独測位結果と比べると14.5m、DGPSの方が測位精度が悪いという結果になった。この原因として、以下に示す理由が考えられる。GPS受信装置とGPS衛星間の擬似距離(PR: Pseudo Range)には、共通誤差の他に受信装置固有の誤差が含まれている。DGPSを行った場合は、擬似距離補正量(PR cor: Pseudo Range correction)として共通誤差の他にBS受信装置固有の誤差成分も機上局に送ることになる。したがって、機上局は共通誤差を打ち消せる代わりにBS受信装置誤差を含むことになる。共通誤差が受信装置固有誤差より十分大きい場合はDGPSによる効果が期待できるが、同等か小さい場合はDGPSを行うと測位精度が悪くなる。

また、SA環境下でDGPSを行ったときの測位精度の限界について考察する。参考文献15)の実験ではGPSアンテナを共通にして静止測位を行った。この場合の実時間DGPS測位の精度は、RMS Lengthで約25m(GDOP<5)となっている。この値は誤差源をなるべく排除した場合の測位精度であるので、本GPS受信装置でDGPSを行った場合の測位精度の実質的な限界と考えられる。本実験でDGPS

を行った場合の測位精度は約35mであり、文献15)と比べると精度は悪くなっている。この理由は、航空機の運動による影響、異なるアンテナを使用したことによる影響、LTとFDASのTCGの時刻差などが原因で発生する測位誤差と考えられる。飛行実験時の航空機の経路角は最大-6度程度であるので、これらの測位誤差は垂直方向より水平面内に大きく影響を与えることが予想できる。

6. ま と め

本報告書は1990年度及び1991年度に仙台空港で行ったGPS実飛行実験結果について整理し、レーザ・トラッカーを基準位置とし1チャンネルGPS受信装置の測位精度の評価について述べた。測位精度の評価として、GPS衛星の幾何学的な配置が測位精度に与える影響と進入着陸時の場合を取り上げた。進入着陸時におけるGPS測位精度については、

- (1) SA環境下での単独測位
- (2) SA環境下でのDGPS測位
- (3) SA無しでの単独測位

の3つの場合に分け、GPS衛星の補正量SAの有無が測位精度に与える影響について評価を行った。この結果、(1)の単独測位に比べ(2)のDGPS測位では約40mの測位精度の向上が見られたのに対し、(3)のSA無しの場合だと測位精度は約55m良い結果になった。したがって、DGPSで補正したときよりもSAがない条件で単独測位を行った方が測位精度は良くなった。DGPSを行った場合BSより機上局受信装置にGPS衛星の共通誤差と共通誤差ではないBSのGPS受信装置独自の誤差も送信されてしまうので、受信装置独自の誤差が共通誤差よりも大きい場合には測位精度の向上は期待できない。しかし、実際のGPS測位ではSAによる誤差は受信装置独自の誤差より十分大きいので、SA環境下において本GPS受信装置を使用したDGPS測位は有効である。

7. あとがき

本実験は以下の機関との共同研究のもとで実施された。

運輸省電子航法研究所

宇宙開発事業団

株式会社 東芝

日本電気株式会社

仙台空港事務所には空港の利用と実験遂行上の便宜を図って頂き、また、航空大学校、航空保安大学校、海上保安大学校には実験遂行上のご協力を頂いた。電子航法研究所にはGPS測位位置と比較する為のLTの便宜で、また、同岩沼分室には実験統制室・実験計測室等の便宜と実験遂行上のご支援を頂いた。(株)東芝及び日本電気(株)には実験計測装置の開発と運営等でご協力を頂いた。ここに記して

謝意を表する。

また、本研究所は航法系飛行実験実行委員会を組織し、飛行実験を行った。本報告書で取りあげた実験時の同委員会のメンバー構成は以下の通りである。

委員長	松島弘一	制御部	全体調整
副委員長	内田忠夫	飛行実験部	実験総括
"	中村 勝	"	航空機運行総括
委員	小野孝次	飛行実験部	実験主担当
"	村田正秋	制御部	共同研究主担当 (データ解析主担当)
"	坂井紀穂	飛行実験部	実験担当
"	宮沢与和	"	"
"	稲垣敏治	"	"
"	穂積弘毅	"	"
"	石川和敏	"	"
"	奥野善則	"	"
"	照井祐之	"	航空機運行担当
"	村上義隆	"	実験担当
"	鎌田幸男	"	機体整備担当
"	新宮博公	制御部	実験担当
"	辻井利昭	"	"
"	多田 章	新型グループ	"
"	藤井謙司	"	"

参 考 文 献

- 1) 飛行実験部：実験用航空機ドルニエ機について一現状と装備機器概要一，航空宇宙技術研究所資料TM-637，1991年7月
- 2) 小野孝次，坂井紀穂，宮沢与和，村田正秋，多田章，藤井謙司，鎌田幸男，照井祐之，中村勝，内田忠夫，松島弘一：ドルニエ機によるMLS等航法系飛行実験について(その1)一実験概要と基準飛行経路一，第29回飛行機シンポジウム講演集，1991年10月
- 3) 小野孝次，奥野善則，稲垣敏治，村上義隆，田嶋祐久，飯田浩，白川健一：ドルニエ機によるMLS等航法系飛行実験について(その2)一MLS評価実験結果一，第29回飛行機シンポジウム(1991)講演集
- 4) 石川和敏，穂積弘毅，稲垣敏治，新宮博公，福島荘之介，池内正之，張替正敏，富田博史：ドルニエ機によるMLS等航法系飛行実験について(その3)一GPS評価実験結果一，第29回飛行機シンポジウム講演集，1991年10月
- 5) 航法系飛行実験実行委員会：MLS等航法系飛行実験一平成2年度の実験概要一，航空宇宙技術研究所報告TR-1175，1992年7月
- 6) 松島弘一，長谷川英雄，峯野仁志：ドルニエ機によるHOPE着陸航法系の飛行実験，第35回宇宙科学連合講

演会講演集, 1991年11月

- 7) 小野孝次, 石川和敏, 内田忠夫, 村田正秋, 松島弘一, 新宮博公: 飛行実験によるディファレンシャルGPSの検討, 第27回飛行機シンポジウム講演集, 1989年10月
- 8) 村田正秋, 小野孝次, 石川和敏, 出口良二: ディファレンシャルGPS予備飛行実験, 第6回宇宙航空の誘導制御シンポジウム, 1989年11月
- 9) 村田正秋, 小野孝次, 宮沢与和, 石川和敏, 富田博史, 池内正之, 張替正敏, 宮野智行: GPS等着陸航法系飛行実験の予備解析, 第8回誘導制御シンポジウム, 1991年11月
- 10) M. Murata, T. Tsujii, K. Matsushima, Y. Miyazawa, K. Ishikawa, T. Uchida, H. Hasegawa, S. Fukushima, H. Yokoyama, H. Tajima, H. Mineno, M. Ikeuchi, M. Harigae and H. Tomita: An application of GPS Carrier Phase Observation to an A/L Navigation Flight Experiment, Proceeding of 1991 symposium on Space Navigation and Astrodynamics (ISAS, December 20, 1991), Journal of the Geodetic Society of Japan
- 11) 辻井利昭, 村田正秋, 小野孝次, 石川和敏, 宮沢与和: ディファレンシャルGPS飛行実験について, 第31回計測自動制御学会学術講演会(1992)講演集
- 12) 日本測地学会編著: GPS-人工衛星による精密測位システム, 日本測量協会, 1986年
- 13) 村田正秋, 張替正敏: GPSにおけるセレクトティブ・アベイラビリティ(選択利用性)の観測と評価解析, 航空宇宙技術研究所報告 TR-1105, 1991年4月
- 14) 石川和敏, 小野孝次, 村田正秋: DGPSの飛行試験, 第1回交通・物流部門大会講演論文集, 1992年11月
- 15) 小野孝次, 石川和敏: 実験用航空機ドルニエ機のGPS航法装置評価実験-地上固定点におけるGPS/DGPS測位評価実験-, 航空宇宙技術研究所資料 TM-649, 1992年8月
- 16) 石川和敏, 小野孝次: 地上実験によるディファレンシャルGPSの評価, 第27回飛行機シンポジウム講演集, 1989年10月
- 17) 小野孝次, 石川和敏, 小島敏明: 実験用航空機ドルニエ機のDGPSについて(その1), 第22回日本航空宇宙学会講演会講演集, 1991年4月
- 18) 小野孝次, 石川和敏: 実験用航空機ドルニエ機のDGPSについて(その2)-地上固定点におけるGPS/DGPS測位評価実験-, 第30回飛行機シンポジウム(1992)講演集
- 19) 富田博史, 岸本仁, 武川洋一, 池内正之, 小野孝次, 石川和敏: Do 228搭載飛行データ収集システム(J3100 FDAS)について, 第35回宇宙科学技術連合講演会講

演集, 1991年10月

- 20) Rockwell international: Collins NAVCORE I GPS C/A RECEIVER instruction manual, Aug. 1, 1986
- 21) 航法系飛行実験実行委員会: 第1回~第4回飛行実施要領, 1990年8月~1991年11月
- 22) A.J.VAN DIRENDONCK, S.S.RUSSELL, E.R.KOP ITZKE and M.BIRNBAUM: The GPS Navigation Message, Navigation, Journal of The Insutitute of Navigation, Vol.25, No.2, Summer 1978
- 23) 新宮博公, 松島弘一, 村田正秋, 内田忠夫, 小野孝次, 宮沢与和, 石川和敏, 岡優, 池内正之, 張替正敏, 前田裕昭: GPS-INS複合航法システムの航空機による移動体実験(その1)システム概要, 第28回飛行機シンポジウム, 1990年11月
- 24) 張替正敏, 前田裕昭, 小野孝次, 石川和敏, 村田正秋, 新宮博公: GPS-INS複合航法システムの航空機による移動体実験(その2)実験結果, 第28回飛行機シンポジウム, 1990年11月
- 25) Hirokimi SHINGU, Koichi MATSUSHIMA, Toshiaki TSUJII, Takatsugu ONO, Kazutoshi ISHIKAWA, Toshiharu INAGAKI, Hisashi YOKOYAMA, Hiroshi TOMITA and Tomoyuki MIYANO: Flight Evaluation of DGPS and DGPS-INS Navigation Systems, Proceedings of THE EIGHTEENTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM on SPACE TECHNOLOGY and SCIENCE, Kagoshima, 1992

付録A NAVCORE I GPS受信装置データ

NAVCORE I GPS受信装置は機上局と地上局用で一部異なるデータを出力する(表A1)。機上局は測位局として必要な測位結果データを中心にして出力されるのに対し(表A2), 地上局側は擬似距離補正量等の計算に必要なデータを中心に出力される(表A3)。BSの計算機は表A3の出力データ(ADADラベル)を元に補正量データ(E0E0ラベル)を計算する。E0E0ラベルはBSから機上局に送信されるデータである。

地上局から機上局へデータを送るためにはユーザオプションの送受信装置を必要とする。今回はVHF帯の送受信装置を使ったため, データ送受信速度が1200ボーとなった。そのため, 送信データには圧縮を行ったが, 補正量の送信間隔は5秒間となった。

表 A1 GPS受信装置の出力データブロック一覧

Block Label	サイズ	出力間隔(秒)	提供される情報の概要
A4A4	10 bytes	1	テスト用疑似衛星追跡/捕獲状態
A5A5	54 bytes	1	ECEF(地心固定直角座標基準系)座標現在のユーザのユーザ位置/速度等の航法情報
A6A6	34 bytes	1	緯度/経度/高度による現在のユーザ位置/速度等の航法情報
A7A7	212 bytes	120	衛星選択条件(衛星位置情報、衛星誤差情報)
A8A8	60 bytes	120	時間補正情報
A9A9	28 bytes	1	UTC時間情報
E1E1	32 bytes	1	疑似距離・疑似距離変化率・受信搬送波利用情報
E6E6	28 bytes	1	電離層伝播遅延及び大気伝播遅延データ
F3F3	54 bytes	1	衛星航法データ=メッセージ・データ:軌道要素・天体暦・衛星時計誤差情報・伝播遅延等の衛星放送生データ
ADAD	90 bytes	1	DGPS地上局出力データ:疑似距離・疑似距離変化率・計算距離等
E0E0	30 bytes	1	DGPS地上局で作成される補正量データ

地上局(BS) : A4A4-A9A9,E1E1,E6E6 and F3F3
 機上局(Do228) : ADAD and F3F3
 補正量データ(BS->Do228) : E0E0

表 A2 GPS受信装置出力データ (Do 228)

LABEL	A4A4	A5A5	A6A6	A7A7	A8A8	A9A9	E1E1	E6E6	F3F3
BLOCK SIZE (BYTES)	10	54	34	212	60	28	32	28	54
LABEL FIELD	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES	116 2 BYTES
TIME MARK (SET TIME)	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES	I32 4 BYTES
TEXT	SV NO., I16 (2 BYTES)	MODE, (2 BYTES)	E LONG., F40 (6 BYTES)	USER ERROR, F24 (4 BYTES)	UTC BIAS, F40 (6 BYTES)	DAY I16 (2 BYTES)	SV NO., I16 (2 BYTES)	SV NO., I16 (2 BYTES)	TIME SLOT ID, I16 (2 BYTES)
	CARRIER LEVEL, I16 (2 BYTES)	SET TIME AT SOLUTION, F40 (6 BYTES)	N.LAT., F40 (6 BYTES)	NAV GDOP, F24 (4 BYTES)	UTC DRIFT, F40 (6 BYTES)	TIME, I32 (4 BYTES)	CARRIER LEVEL, I16 (2 BYTES)	SET TIME, F24 (4 BYTES)	SUBFRAME ID, I16 (2 BYTES)
		ECEF X POSITION, F40 (6 BYTES)	WGS84 ALTITUDE, F24 (4 BYTES)	BEST GDOP, F24 (4 BYTES)	SET DELAY, F40 (6 BYTES)	YEAR, I16 (2 BYTES)	VALIDITY, I16 (2 BYTES)	TROPOSPHE- RIC DELAY, F24 (4 BYTES)	COLLECTION SATELLITE, I16 (2 BYTES)
		ECEF Y POSITION, F40 (6 BYTES)	SPEED, F24 (4 BYTES)	VISIBLE SATELLITE, I16 (2 BYTES)	WEEK NO., I16 (2 BYTES)	MODE/ NUMBER, (2 BYTES)	MEASURED PSEUDO RANGE, F40 (6 BYTES)	CLOCK DELAY, F24 (4 BYTES)	SUBFRAME DATA, 10*I32 (40 BYTES)
		ECEF Z POSITION, F40 (6 BYTES)	DIRECTION, F24 (4 BYTES)	SATELLITE ID,I16 (24 BYTES)	WEEK STAT, I16 (2 BYTES)	SV NO.(S) (8 BYTES)	PSEUDORANG E VARIANCE, F24 (4 BYTES)	IONOSPHERIC DELAY, F24 (4 BYTES)	ERROR SUMMARY, I16 (2 BYTES)
		RANGE BIAS, F40 (6 BYTES)	VERTICAL SPEED, F24 (4 BYTES)	SATELLITE SOURCE DATA, I16 (24 BYTES)	ALTITUDE DIFFERENCE I16 (2 BYTES)	GDOP I16 (2 BYTES)	DELTA RANGE VALIDITY, I16 (2 BYTES)	CLOCK DRIFT, F24 (4 BYTES)	
		ECEF X VELOCITY, F24 (4 BYTES)		SATELLITE ELEVATION ANGLE,F14 (48 BYTES)	TIME OF VALIDITY F40 (6 BYTES)	USER ERROR, I16 (2 BYTES)	MESURED DELTA RANGE, F24 (4 BYTES)		
		ECEF Y VELOCITY, F24 (4 BYTES)		SATELLITE AZIMUTH COS,F24 (48 BYTES)	RESERVE (24 BYTES)		DELTA RANGE VALIANCE, F24 (4 BYTES)		
		ECEF Z VELOCITY, F24 (4 BYTES)		SATELLITE AZIMUTH SINE, F24 (48 BYTES)					
		RANGE DRIFT, F24 (4 BYTES)							

表 A3 GPS受信装置出力データ (BS)

LABEL	ADAD	ADAD	F3F3			E0E0			
BLOCK SIZE (BYTES)	90		54			30			
LABEL FIELD	116 2 BYTES		116 2 BYTES			116 2 BYTES			
TIME MARK (SET TIME)	132 4 BYTES		132 4 BYTES			.			
TEXT	SV NO., 116 (2 BYTES)	DRv., F24 (4 BYTES)	TIME SLOT ID, 116 (2 BYTES)			REF TIME, 116 (2 BYTES)			
	SV DATA, 116 (2 BYTES)	Tropo., F24 (4 BYTES)	SUBFRAME ID, 116 (2 BYTES)			STATION ID, 116 (2 BYTES)			
	SV STATUS, 132 (4 BYTES)	Rbias, F24 (4 BYTES)	COLLECTION SATELLITE, 116 (2 BYTES)			STATION HEALTH, 116 (2 BYTES)			
	AD, 132 (4 BYTES)	Iono., F40 (6 BYTES)	SUBFRAME DATA, 10*132 (40 BYTES)			SATELLITE ID, 116 (2 BYTES)			
	GPS TIME, F40 (6 BYTES)	Rdrift, F24 (4 BYTES)				SATELLITE HEALTH, 116 (2 BYTES)			
	LOS, F40 (6 BYTES)	Ckco., F24 (4 BYTES)	ERROR SUMMARY, 116 (2 BYTES)			PSEUDO RANGE CORRECTION, 116 (2 BYTES)			
	PRmeas., F40 (6 BYTES)	AD, 116 (2 BYTES)				RATE OF RANGE CORRECTION, 116 (2 BYTES)			
	PRv., F40 (6 BYTES)	POM 116 (2 BYTES)				AOD, 116 (2 BYTES)			
	PRres., F40 (6 BYTES)	DIFF, 116 (2 BYTES)				DC, 116 (2 BYTES)			
	DRres., F24 (4 BYTES)	RESERVE (6 BYTES)				RESERVE 10 BYTES			
	Validity, 116 (2 BYTES)								
	DRcomp., F24 (4 BYTES)								

付録 B 仙台飛行実験における飛行パターン

本実験における Do 228 の飛行方法 (飛行ケース) は実験目的により異なり, その飛行パターンは種々検討され実施された。飛行パターンは大きく周回飛行, 水平飛行及び着陸進入飛行に分けられ, その中で飛行形態によりさらにいくつかの実験ケースに分けられる。また, 代表的な飛行パ

ターンを図 B1 に示す。飛行ケースの番号は本文及び表に示したものと一致している。なお, 各飛行ケースの詳細については参考文献 21) に記述している。

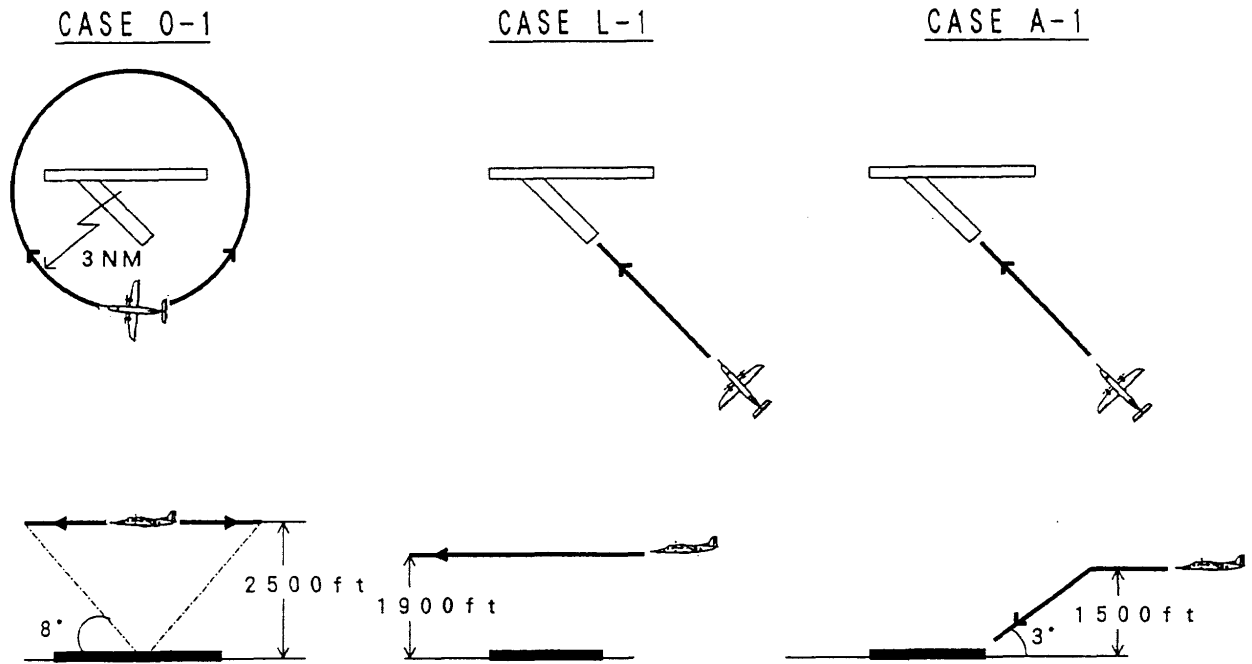


図 B1 代表的な飛行実験例

付録 C 地上施設の配置および座標系

第1回から第4回までの仙台空港における航法系飛行実験時の地上施設の位置座標を表C1に示す。位置はWGS84座標系とRCS座標系のものを表示した。ここで、Do228の基準位置を出力するLTだけは各回の実験で設置し直すためポジションが異なっている。また、LT座標系はMLSアジマス地上局の位相中心と滑走路中心(TH30)を結んだ軸(AZ座標系)にねじれの位置になるようにY座標を定めて設置している。Z軸は局地重力方向とは逆向きを正としている。従って、LT座標系はAZ座標系を地球の丸みの分だけ回転し、地上施設の分だけ平行移動したものとなっている。

RCS座標系とAZ座標系の関係は、

$$P_{RCS} = R_y(\alpha + \gamma) R_z(-\pi + \delta) P_{AZ}$$

P_{RCS} : RCS座標系における位置

P_{AZ} : AZ座標系における位置

$R_y(\theta)$: y軸を中心に θ 回転

$R_z(\theta)$: z軸を中心に θ 回転

$\alpha = \Delta x' / a_e$: 地球の丸みによる回転

$\gamma = 2.55982 \times 10^{-4} \text{ (rad)}$: 滑走路の仰角による回転

$\delta = \Delta y / \Delta x' \text{ (rad)}$: MLS(AZ)原点の位置オフセットによる回転

$$\Delta x' = \Delta x \cos(\delta) + \Delta y \sin(\delta)$$

Δx : RCS座標系でのAZのx軸位置

Δy : RCS座標系でのAZのy軸位置

a_e : 地球の半径

となり、LT座標系との関係は、

$$P_{AZ} = R_z(\pi/2) R_y(-\alpha) R_x(-\beta) P_{LT}$$

P_{AZ} : AZ座標系における位置ベクトル

P_{LT} : LT座標系における位置ベクトル

$R_x(\theta)$: x軸を中心に θ 回転

$R_y(\theta)$: y軸を中心に θ 回転

$R_z(\theta)$: z軸を中心に θ 回転

$\alpha = \Delta x / a_e$

$\beta = \Delta y / a_e$

Δx : AZ座標系におけるLTのx軸位置

Δy : AZ座標系におけるLTのy軸位置

となる。

GPS受信装置はWGS84座標系を採用している。この座標系とレーザトラッカーが採用している座標系の変換にはAZ座標系とRCS座標系を仲介して行われる。RCS座標系とWGS84座標系の変換は次式による。

$$P_{WGS84} = C \cdot P_{RCS} + R_{TH \text{ in WGS84}}$$

ここで、

P_{WGS84} : WGS84直交座標系における位置ベクトル

P_{RCS} : RCS座標系における位置ベクトル

C : 回転行列

$$\begin{bmatrix} 0.78077485 & -0.13138324 & -0.61084293 \\ 0.50649850 & 0.70554189 & 0.49565100 \\ 0.36585504 & -0.69638286 & 0.61741477 \end{bmatrix}$$

$R_{TH \text{ in WGS84}}$: WGS84座標系でのTH30位置ベクトル

$$\begin{bmatrix} -3899774.805 \\ 3166224.678 \\ 3917219.848 \end{bmatrix}$$

また、WGS84座標系での直交座標系と経度・緯度・高度

系に変換するには,

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{z + (E')^2 b' \sin^3 \theta}{p - E'^2 a' \cos^3 \theta} \right) : \text{緯度}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) : \text{経度}$$

$$h = \left(\frac{p}{\cos \phi} \right) - v : \text{高度}$$

$$p = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{za'}{pb'} \right)$$

$$E'^2 = (a'^2 - b'^2) / a'^2$$

$$E'^2 = (a'^2 - b'^2) / b'^2$$

$$v = a' / (1 - E'^2 \sin^2 \phi)^{1/2}$$

$$b = (1-f) a$$

また, WGS84 座標系で採用している回転楕円体の諸元は,

a : 6378137.0 m : 赤道半径

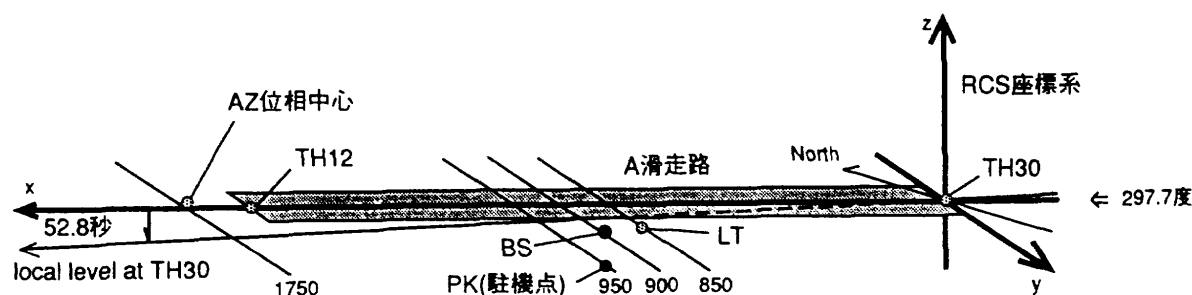
$1/f$: 298.257223 : 扁平率の逆数

の値を使った。

ここで, RCS座標系はA滑走路中心 (TH30とTH12) を結んだ直線をX軸とし定義される。仙台空港滑走路自体は水平でなく, また地球の丸みの分だけ局地水平面とずれるため, RCS座標系のZ軸は座標原点位置 (TH30) における局地重力方向と異なることになる。各座標系の関係図を図C1に示す。

表C1 地上施設位置

	WGS-84	RCS(m)
BS(DGPS)	E140-55-02.077 N38-08-14.038 49.145m	891.244 116.979 2.254
PK	E140-54-55.817 N38-08-08.820 46.047m	951.444 330.287 -0.875
AZ(MLS)	E140-54-32.774 N38-08-30.469 51.049m	1758.541 0.070 3.757
TH30	E140-55-36.712 N38-08-03.959 46.598m	0.000 0.000 0.000
TH12	E140-54-53.091 N38-08-22.049 47.019m	1199.812 0.000 0.000
LT (FX1-F05)	E140-55-02.688 N38-08-13.900 51.206m	878.026 111.438 2.617
LT (FX2-F10)	E140-55-02.676 N38-08.13.914 50.084m	878.504 112.183 1.495
LT (F11-F13)	E140-55-02.675 N38-08.13.911 49.473m	878.469 112.279 0.884
LT (F14-F19)	E140-55-02.613 N38-08.14.006 48.486m	879.238 111.786 1.601



図C1 RCS座標系及び各座標系の原点位置

付録 D GPS衛星の種類

表 D1 に GPS 衛星の種類と衛星を捕捉した実験番号を示す。本文中で述べたように GPS 衛星には Block I と Block II の 2 種類の衛星があり、このうち Block II 衛星には人工的

な誤差 (SA) がかけられている可能性がある。GPS 衛星は発信電波にかけられる擬似ノイズ番号を衛星番号とした。表には本実験期間中に捕捉された衛星番号だけではなく現在 (1992 年 12 月) 捕捉可能な衛星番号も同時に表示した。

表 D1 GPS 衛星の種類

衛星番号	Block No	表 記
S V 2	I I	実験 1 2 3 4 で捕捉
3	I	" 1 2 3 4 で捕捉
6	I	" 1 2 3 4 で捕捉 1992/12 現在使用不可能
9	I	" 1 2 で捕捉 1992/12 現在使用不可能
11	I	" 1 3 で捕捉
12	I	" 1 2 3 4 で捕捉
13	I I	" 1 2 3 4 で捕捉
14	I I	" 1 3 4 で捕捉
15	I I	" 3 4 で捕捉
16	I I	" 1 2 3 4 で捕捉
17	I I	" 2 3 4 で捕捉
18	I I	" 1 2 3 4 で捕捉
19	I I	" 1 2 3 4 で捕捉
20	I I	" 2 で捕捉
21	I I	" 1 2 3 で捕捉
23	I I	" 2 3 4 で捕捉
24	I I	" 3 4 で捕捉
25	I I	実験時では衛星打ち上げ前
26	I I	"
27	I I	"
28	I I	"

既 刊 報 告

TR-1220	矩形断面スクラムジェット燃焼器の実験(Ⅱ) －噴射部形状の影響－ Experiment on a Rectangular Cross Section Scramjet Combustor (Ⅱ) － Effects of Fuel Injector Geometry－	1993年12月	村上 淳郎, 小室 智幸 工藤 賢司
TR-1221	航技研0.1m×0.1m遷音速低温風洞の気流測定 Measurement of Free-Stream Properties in the NAL 0.1m×0.1m Transonic Cryogenic Wind Tunnel	1993年12月	青木 竹夫, 澤田 秀夫
TR-1222	多層積層円筒殻の熱変形基礎式について Thermoelastic Equations for Multi-Layered Cylindrical Shells	1994年 1 月	遠藤 修司
TR-1223	低騒音STOL実験機機体開発総合報告書 A Quiet STOL Research Aircraft Development Program	1994年 1 月	STOLプロジェクト推進 本部 機体技術開発室
TR-1224	金属添加炭化水素ロケットの燃焼特性 Combustion Characteristics of Metallized Hydrocarbon Fuels	1994年 1 月	坂本 博, 佐藤 和雄 八柳 信之
TR-1225	モンテカルロ・シミュレーションによるロッド・エンド・ ハウジングの疲労破面解析 Analysis of Fatigue Fractographic Data of a Rod End Housing Using a Monte Carlo Simulation	1994年 2 月	下河 利行, 角田 義秋
TR-1226	ケーブルマウント・システムによる静的縦3分力測定の試 み Measurements of Longitudinal Static Aerodynamic Coefficients by the Cable Mount System	1994年 2 月	室田 勝一, 柳原 正明
TR-1227	斜め衝撃波 / 乱流境界層の三次元干渉場の研究 －流れ構造と抽気位置の影響－ A Study of Three-Dimensional Interaction Flow Fields between Swept Shock Waves and Turbulent Boundary Layers －Flow Structures and Effects of Bleed－	1994年 3 月	玉山 雅人, 坂田 公夫 柳 良二, 進藤 重見 村上 哲, 本阿称真治
TR-1228	チップフィン形状翼フラッタ低速基礎風洞実験 Fundamental Wind Tunnel Experiments on Low- Speed Flutter of a Tip-Fin Configuration wing	1994年 3 月	上田 哲彦, 外崎 得雄 岩崎 和夫
TR-1229T	Monte Carlo simulation of rarefied nitrogen gases contained between parallel plates using a statis- tical inelastic cross-section model	1994年 3 月	古浦 勝久

航空宇宙技術研究所報告1230号

平成 6 年 3 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町 7 丁目 44 番地 1
電話三鷹 (0422) 47-5911 (大代表) 〒182
印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2 - 27 - 12

Printed in Japan