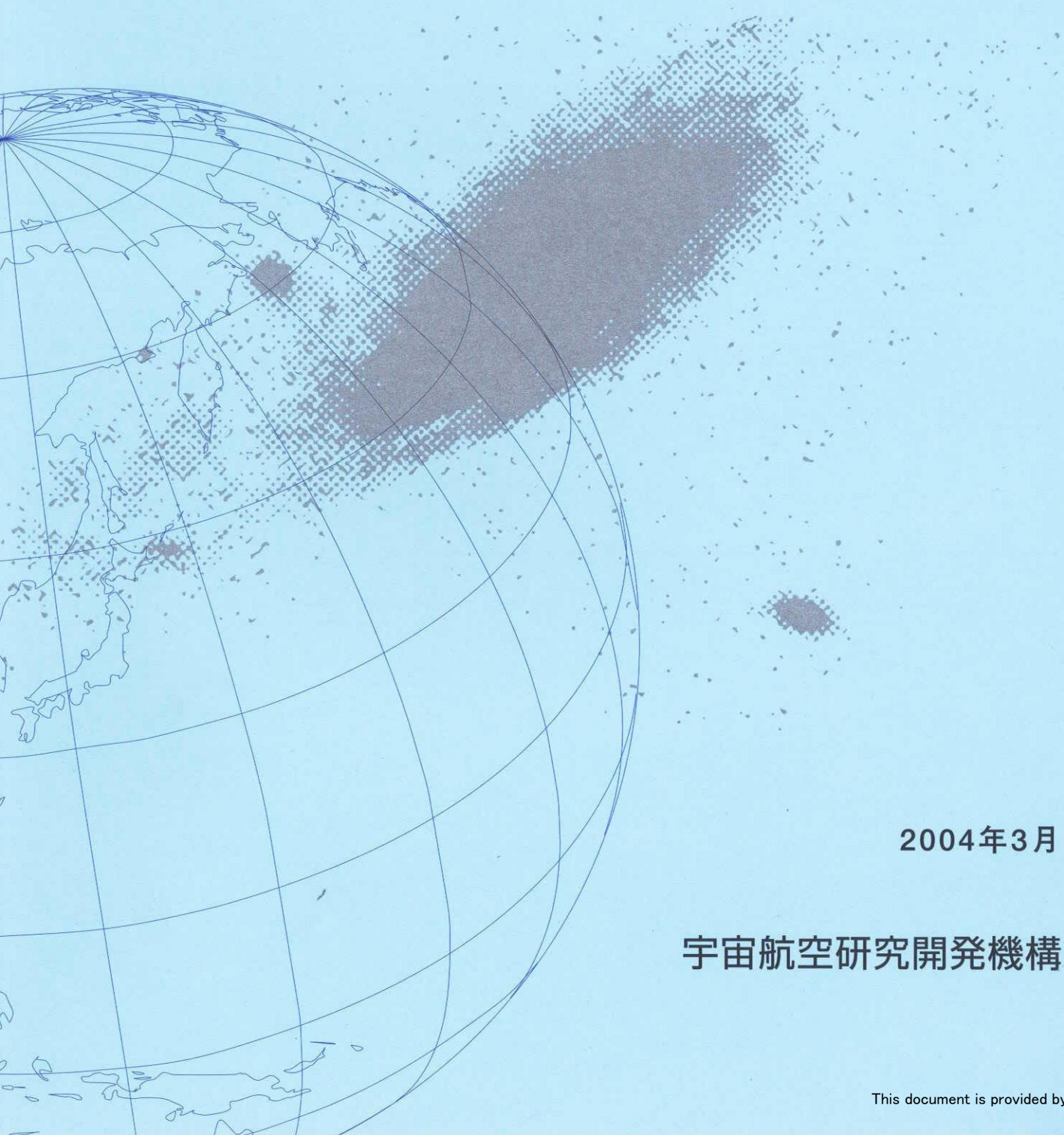


宇宙航空研究開発機構研究開発報告

YS-11型機胴体構造の落下衝撃試験(その2)



2004年3月

宇宙航空研究開発機構

宇宙航空研究開発機構研究開発報告
JAXA Research and Development Report

YS-11型機胴体構造の落下衝撃試験(その2)
Vertical Drop Test of a YS-11 Fuselage Section (Part 2)

岩崎 和夫^{*1}、峯岸 正勝^{*1}、少路 宏和^{*1}、宮木 博光^{*1}、吉本 周生^{*1}
寺田 博之^{*2}、熊倉 郁夫^{*3}、片山 範明^{*4}、林 徹^{*4}、小坂 英之^{*4}
赤楚 哲也^{*4}、磯江 暁^{*4}、山岡 俊洋^{*4}

Kazuo IWASAKI, Masakatsu MINEGISHI, Hirokazu SHOJI, Hiromitsu MIYAKI, Norio YOSHIMOTO
Hiroyuki TERADA, Ikuo KUMAKURA, Noriaki KATAYAMA, Toru HAYASHI, Hideyuki KOSAKA
Tetsuya AKASO, Akira ISOE, Toshihiro YAMAOKA

- *1: 総合技術研究本部 航空安全技術開発センター
Air Safety Technology Center
Institute of Space Technology and Aeronautics
- *2: (財) 航空宇宙技術振興財団
Japan Aero Space Technology
- *3: 東京ビジネスサービス
Tokyo Business Service, LTD
- *4: 川崎重工業株式会社
Kawasaki Heavy Industries, LTD

2004年3月
March 2004

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

目 次

1	まえがき	1
2	落下衝撃試験	2
2.1	供試体	2
2.2	試験条件	3
2.3	試験設備	3
2.4	シート配置及び人体ダミー	4
2.5	計測用センサ位置	4
2.6	計測システム	5
2.7	データ処理	6
3	試験結果及び考察	10
3.1	衝撃速度	10
3.2	変位量	10
3.3	最大加速度と荷重	10
3.4	最大ひずみ	16
3.5	周波数解析	17
3.6	目視検査結果	17
4	衝撃解析	23
4.1	概要	24
4.2	胴体構造モデル及び床下荷物室モデル	24
4.3	乗客シートモデル及び人体ダミー・モデル	24
4.4	解析条件	25
4.5	後方胴体	25
4.5.1	床面速度	25
4.5.2	破壊様相	25
4.5.3	加速度	25
4.6	前方胴体	29
4.6.1	床面速度	29
4.6.2	破壊様相	29
4.6.3	加速度	29
5	結論	31
6	おわりに	33
7	参考文献	33

付録1	CFC600処理の加速度時刻歴応答と人体ダミーのCFC1000処理の加速度 及び圧縮荷重の時刻歴応答	35
付録2	CFC60処理の加速度時刻歴応答及び圧縮荷重の時刻歴応答	49
付録3	CFC600処理のひずみ時刻歴応答	63
付録4	CFC60処理のひずみ時刻歴応答	71

YS-11型機胴体構造の落下衝撃試験 (その2) *1

岩崎和夫*2、峯岸正勝*2、少路宏和*2、宮木博光*2、吉本周生*2、
寺田博之*3、熊倉郁夫*4、片山 範明*5、林 徹*5、小坂 英之*5、
赤楚 哲也*5、磯江 暁*5、山岡 俊洋*5

Vertical drop test of a YS-11 fuselage section (Part 2)

K.Iwasaki, M.Minegishi, H.Shoji, H.Miyaki, N.Yoshimoto

(National Aerospace Laboratory of Japan)

H.Terada (Japan Aero Space Technology)

I.Kumakura(Tokyo Business Service,LTD)

N.Katayama, T.Hayashi, H.Kosaka, T.Akaso, A.Isoe, T.Yamaoka

(KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES,LTD)

Abstract

The Structures and Materials Research Center of the National Aerospace Laboratory of Japan (NAL) in conjunction with Kawasaki Heavy Industries, LTD(KHI) conducted a second vertical drop test of a fuselage section cut from a NAMC YS-11 transport airplane in July 2002.

The main objective of this test program was to obtain background data for aircraft cabin safety by drop testing a full-scale fuselage section, and to develop a computational tool for aircraft fuselage structure crash simulation.

The test article including seats and anthropomorphic test dummies was dropped onto a rigid impact surface using the free-fall method at a velocity of 7.6 m/s (25 ft/s). The impact environment and the resultant response of the fuselage structure and the passenger dummies were considered to be severe but potentially survivable.

Finite element models of the test articles for vertical drop tests were developed using a nonlinear dynamic analysis code, LS-DYNA3D. Correlation between test and analysis was fairly good. A description of some of the results of the full-scale fuselage section drop tests and numerical simulations is presented in this paper.

Keywords: crashworthiness, vertical drop test, fuselage section, YS-11

1. まえがき

航空機は、その設計技術や運航安全技術の進歩に伴い航空輸送の安全性は著しく改善され、今日では極めて安全な交通手段となっている。しかしながら、世界の航空機事故発生率(出発回数に対する機体全損事故件数)は、この20年間殆ど改善されないため、航空機関連機関では航空機事故の防止対策とともに、事故時の客室安全性向上の研究を強化している。また、これまで全機または部分構造による衝撃試験は主に米国のNASA(航空宇宙局)やFAA(連邦航空局)で実施し^{1)~6)}、客室の衝撃データの蓄積を行っている。最近では、欧州連合(EU)の研究機関で

も衝撃特性に関する研究が本格化しており、航空機輸送大国である我が国は航空安全に関して国際的に貢献することが求められている。

前回^{7)~9)}、当所の航空安全・環境適合性技術研究(ASET)の一環としての航空機客室構造耐衝撃性の研究に関連して、川崎重工業(株)との共同研究として構造材料研究センターにおいて2001年12月20日にYS-11A-200の後方胴体部分について落下衝撃試験を実施した。今回の落下衝撃試験は落下高さを前回の約1.5倍に設定したより厳しい条件で同機の前方胴体部分について2002年7月5日に実施した。その目的としては今回の前方胴体は床下に荷物室があり、前回の荷物室なしの床下構造と違う荷物室ありの衝撃データを取得し比較、検討することである。実機による落下衝撃試験データは安全基準検討のデータ

*1平成16年2月13日 受付 (received, 13 February 2004)

*2航空安全技術開発センター(Air Safety Technology Center)

*3(財)航空宇宙技術振興在団 (Japan Aero Space Technology)

*4東京ビジネスサービス (Tokyo Business Service, LTD)

*5川崎重工業株式会社 (KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD)

ベースとして資するものである。

また、前方胴体及び後方胴体の胴体断面モデルについてLS-DYNA3Dを用いて有限要素法解析を行った。各時刻での破壊様相および加速度の時刻歴応答について解析と試験との妥当な一致を確認すると共に、これまでのハイブリッド法では限界のあった多自由度の破壊モードが充分に表現可能であることを確認した。

2. 落下衝撃試験

2.1 供試体

試験に用いた胴体構造はYS-11型機の一部で、図1に示す比較的一様な構造位置より乗客シート3列分を確保する2体を切り出した。前回の試験では主翼後方の胴

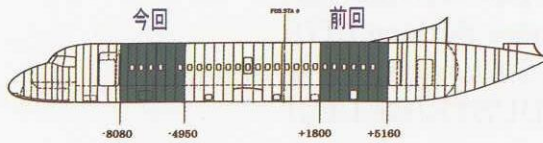


図1. 試験に用いたYS-11胴体部分

体ステーションFSTA+1800よりFSTA+5160までの長さ3360mmの区間を用いたが今回の試験では主翼前方の胴体ステーションFSTA-4950よりFSTA-8080までの長さ3130mmを用いた(以後、「供試体」と呼ぶ)。ここで、胴体ステーション番号(FSTA)は胴体断面の機軸方向の位置を表す。その原点(FSTA 0)は89% MAC(平均空力弦長)位置に相当し、これより前方を(-)、後方を(+)としてmm単位で原点からの位置を示す。供試体は全長にわたってフレーム、外板、ストリンガー、フロアビーム及びストラット等の基本部材で構成された構造である。供試体の前方胴体断面を図2に示す。今回の供試体は前回と異なり床下に荷物室がある構造になっている。



図2. 前方胴体断面

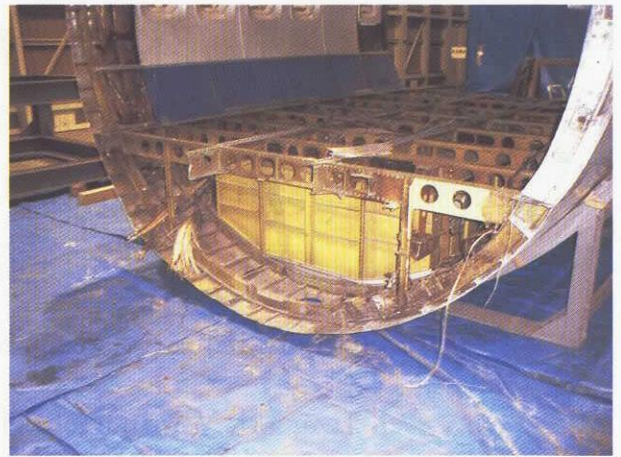


図3. 改修前の供試体床下部分の状況

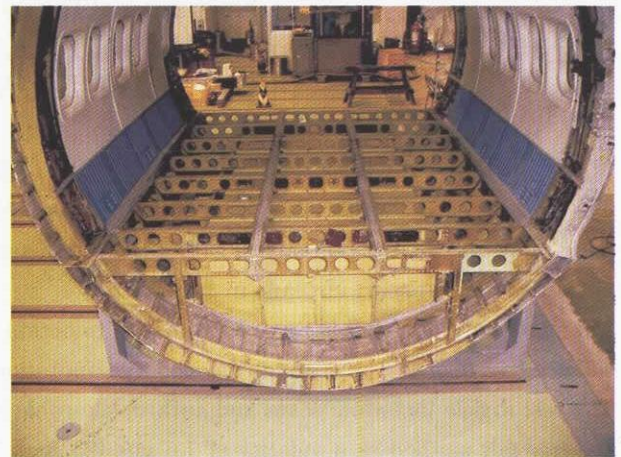


図4. 改修後の供試体床下部分の状況

供試体は試験実施前に床下構造を中心に、空調用ダクト、油圧配管及び電気配線類等、主構造の強度に無関係と考えられる部材(重量75kg)を撤去した。図3、図4および図5に改修前後の供試体床下部分の状況と撤去したパーツの一例を示す。また、本試験では供試体の切断面に特別の補強等は実施しないこととした。改修後に実測した供試体の胴体構造重量(シートなし)は547kgであった。供試体の重量構成を表1に示す。供試体重心は供試体を

表1. 供試体の重量構成

構成品の名称	単体重量(kg)	数量	小計(kg)
胴体構造	547	1体	547
従来型シート	15.2	3脚	45.6
改良型シート	18	2脚	36
16G対応シート	32.6	1脚	32.6
人体ダミー	74.5~77.8	12体	912
計測用ケーブル等	26.8	1式	26.8
全装備品搭載時重量	---	---	1600



コード類



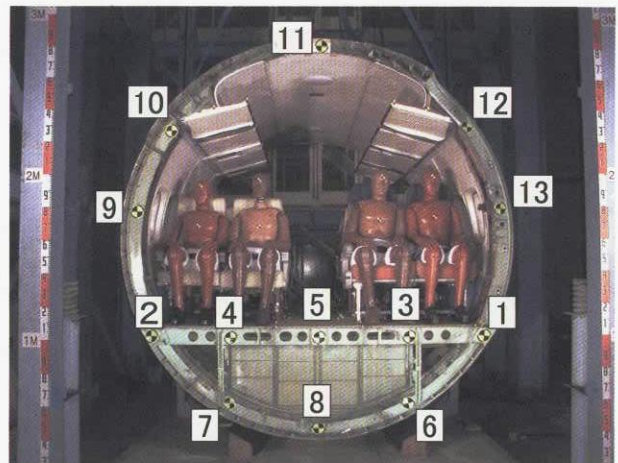
ダクト類

図5. 撤去したパーツの一例

2点で吊り、吊り上げ重量値から算出した結果、機軸方向のほぼ中央位置FSTA-6563 にあった。図6にターゲットマークの貼付位置を示す。また、高速度カメラ画像による動画解析のためのターゲットとしてFSTA-8080フレーム及びFSTA-8080フロアビームの代表位置に直径約100mmのターゲットマークを貼付し、1列目の人体ダミーの頭部、胸部及び膝に15mm角のターゲットマークを貼付した。

2.2 試験条件

今回の試験では前方胴体構造にシート6脚、人体ダミー12体を搭載し、全装備重量は約1,600kg(後方胴体は1,510kg)である。供試体の落下高さは前回の後方胴体部分では1.9mで実施したが、床下胴体フレームの変形は大きかったものの、床上部分の座席及び人体ダミーについての損傷はほとんどなかったため、今回の前方胴体部分の試験では落下高さを前回の約1.5倍である3mで行うこととした。これは、構造の衝撃解析モデル構築を行う目的から、座席及び床上部が全て壊れるような致命的な破壊を避けるため、最近FAAテクニカルセンターで用いている9.1m/s(30ft/s)でなく、落下速度7.6m/s(25ft/s)に相当する。落下方式はコンクリート製プラットフォーム



- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1:フロアビーム/フレーム左接合部 | 8:フレーム最低部 |
| 2:フロアビーム/フレーム右接合部 | 9:フレーム右中央部 |
| 3:フロアビーム/左ストラット上部 | 10:フレーム/右荷物棚接合部 |
| 4:フロアビーム/右ストラット上部 | 11:フレーム最頂部 |
| 5:フロアビーム中央部 | 12:フレーム/左荷物棚接合部 |
| 6:フレーム/左ストラット下部 | 13:フレーム左中央部 |
| 7:フレーム/右ストラット下部 | |

図6. ターゲットマークの貼付位置

(剛な平面)に水平姿勢で垂直自由落下させることとした。

2.3 試験設備

図7に落下試験装置の概略を示す。落下試験装置として後部胴体部分についての試験で用いた当研究所のロケット振動試験用縦型試験台を今回も利用した。本試験台は10本の鉄柱からなり天井ではそれぞれIビームの鋼材でボルト結合されており、試験スペースは左右3.4m、前後4.5m、塔の高さは12mある。屋上階には懸吊荷重29.4kNの手動式ウインチ2基を装備しており、このウインチにより供試体を適切な高さに設定することができる。図8に供試体懸吊状況を示す。また、分離装置は独自

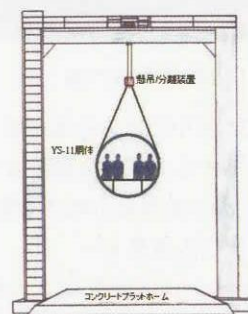


図7 落下試験装置の概略

に開発したものを用いた。図9に分離装置の外観を示す。前回の分離装置はヘリコプタの荷物運搬等に用いられるカーゴフックで最大運用重量2040kgを用いたが今回は試験時の総重量が前回より約100kg重くなったので最大



図8. 供試体懸吊状況



図9. 分離装置の外観

運用重量3000kgで、図中のはさみ部を開くことにより自重で分離ピンが落下する方式の分離装置を開発した。なお、試験前に3000kgを懸吊し分離させ動作を確認した。

2.4 シート配置および人体ダミー

図10に示すようにシート配置は2人掛けシートを左右2脚の3列で計6脚を設置した。なお、1列目の左シートは小糸工業(株)製の16G対応型シートを設置し、1列目の右シートと2列目のシート2脚についてはYS-11Aのオリジナルシートで、3列目の2脚については当所が開発したパイプ状の衝撃吸収部材をYS-11Aのオリジナルシート後部の脚部分に組み込んだシートである。パイプが引き裂かれることによりエネルギーを吸収するもので、

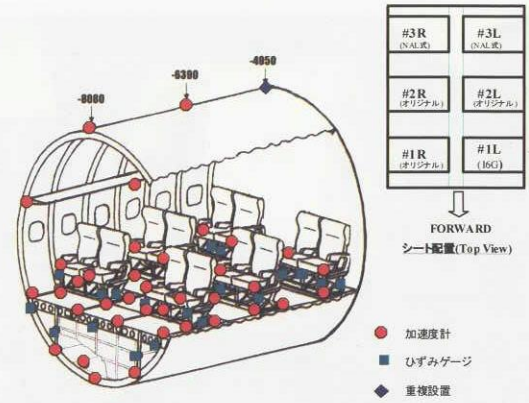


図10. シート配置及びセンサ取付位置

実際の衝撃試験での衝撃吸収能力を確認するために設置した。シート単体の重量はオリジナルシートが15.2kg、衝撃吸収部材を組み込んだシートが18.0kg、16G対応シートが32.6kgであった。

人体ダミーは米国成人男性の50thパーセンタイルの体格であるATD Hybrid-II 50thの計装化ダミーを今回は各エリアでの人体に対する詳細な影響を調べるために前回より4体増やして7体とした。ほかにHybrid-IIおよびHybrid-IIIで計装なしのものは5体で、合計12体を用いた。

Hybrid-IIは耐空性審査要領で規定している試験法CFR 49 Part 572-Bに準じた衝撃試験用人体ダミーであり、頭部、胸部、腰部加速度と胸部変位を測定するものであるが、今回の試験においても供試体を水平姿勢で垂直下方に自由落下させるため、腰部については一部前後方向についても計測したが基本的には上下方向成分のみを計測することとした。本試験においては標準ダミーに計装化されている胸部変位の測定を省略し、腰椎の圧縮荷重の計測を追加した。人体ダミー重量はそれぞれ74.5kgから77.8kg(実測)の間であった。計装化した人体ダミー7体の配置はATD #01を#1Lシート窓側、ATD #02を#1Lシート通路側、ATD #04を#1Rシート窓側、ATD #06を#2Lシート通路側、ATD #07を#2Rシート通路側、ATD#09を#3Lシート窓側、ATD #11を#3Rシート通路側とした。他の席には分布重量として計装なしの人体ダミーを着座させた。

2.5 計測用センサ位置

図10に主なセンサ取付位置を示す。加速度センサはステーション-4950、-6390及び-8080の各フレームの最頂部、荷物棚取付け部、床材との接合部、左右ストラット下部、最下部および床下の荷物室、床部分では各シート取付け部に対応するシートレール部、シートでは脚上部である。ひずみゲージ貼付位置はフレームではステーション-4950と-8080の最頂部、床材との接合部及び左

右ストラット下部,ストラットではステーション-4950, - 5430, - 7758及び-8080左右ストラットの中央部、床部分ではステーション-8080床ビーム中央部、シートでは各脚の中央部及び前後チューブ中央部である。ATD #01(#1Lシート窓側)、ATD #04(#1Rシート窓側)及びATD #11(#3Rシート通路側)の人体ダミー3体にはそれぞれ鉛直方向の加速度計が頭部z方向、胸部z方向および腰部x、z方向に、また腰椎部z方向にはロードセルを装着した。また、ATD #02(#1Lシート通路側)、ATD #06(#2Lシート通路側)及びATD#09(#3Lシート窓側)の人体ダミー3体については腰部x、z方向加速度計を装着し、ATD #07(#2Rシート通路側)の人体ダミーには z方向加速度計のみを装着した。図11にセンサ取付状況を示す。

2.6 計測システム

図12に計測システムの概要を示す。計測システムは胴体構造及び人体ダミー等に取り付けた加速度計、荷重計及びひずみゲージ等のセンサと前置増幅器、記録計及び高速度カメラ装置より構成した。センサは前回同様、落下衝撃試験時に検出が予測される加速度(G)、荷重(kN)及びひずみ($10^{-6} \epsilon$)量の最大値と応答周波数を考慮した

製品を選定した。

加速度センサは、ひずみ変換型の高応答小型加速度計Kyowa AS-200HA型及び小型衝撃用圧電型B&K 4393型を用いた。荷重センサは、人体ダミー内装用のKyowa LUK-2TBS型($\pm 20kN$)、ひずみセンサは、測定点の材料線膨張係数とほぼ適合する2014-T4アルミ用($23.4 \times 10^{-6}/C$)、ゲージパターン単軸、ゲージ長5mm、抵抗値120Ωの一般応力測定用箔ゲージ Kyowa KFG-5-120-C1-23-L20M2R型を用いた。

前置増幅器は、ひずみ変換型加速度センサ用とひずみゲージ用及び圧電型加速度センサ用を用いた。ひずみ変換型用前置増幅器には、デジタル記録計でもあるKyowa DIS-2000A車載型衝突試験計測システムに内蔵されたDIS-208A型シグナルコンディショナを用い、AS-200HA型加速度センサの定格($\pm 200G$)に対して出力値を150%($\pm 300G$)まで許容できるように設定した。また、LUK-2TBS型荷重センサに対しても定格 $\pm 20kN$ の150%($\pm 30kN$)まで出力許容できるように設定した。ひずみゲージ用前置増幅器には、Kyowa CDV-700A型動歪計を用い、ひずみ入力 $\pm 5,000 \times 10^{-6} \epsilon/V$ と設定して本器の最大出力電圧 $\pm 10V$ で1000%($\pm 50,000 \times 10^{-6} \epsilon$)まで計測可能とした。圧電型加速度計用前置増幅器には、B&K製4チャンネルチャージアンプ(B&K 2692-A-OS4)3台を結合した12ch NEXUSコンディショニングアンプとチャージアンプB&K 2635型を用いた。ここでは、圧電型加速度センサ(BK4393型)のチャージ感度に対応するレンジと増幅度を $\pm 316G/V$ と設定した。本器の最大出力電圧 $\pm 8V$ で800%(約 $\pm 2500G/8V$)まで計測可能とした。また、各前置増幅器には、入力信号の前段でセンサの出力信号に3kHzのアナログ・ローパスフィルタ($-24dB/oct$)を挿入した。

デジタル記録計としては、YOKOGAWA製デジタルメモリ、Sony製PCM(Pulse Code Modulation)式デジタルデータレコーダ及びKyowa製衝突試験計測システムを用いた。YOKOGAWA製デジタルメモリは、モジュール化された測定器、制御器、A/D変換器内蔵のメモリ装置が多チャンネルに結合できる計測ステーションである。ここでは、最高サンプリング速度1μ秒のデジタルタイザモジュールを48ch結合した。各チャンネルはアナログ電圧入力であるので、上記の圧電型加速度計用前置増幅器とひずみゲージ用前置増幅器の出力から供給した。ここでは、記録間隔を10kHzサンプリングと設定して収録した。Sony製データレコーダは、上記YOKOGAWA製デジタルメモリに記録した計測点の一部を分岐して記録するバックアップ計測器として用いた。本器は記録帯域幅DC~5kHzであるため、ここでは、記録間隔を設定

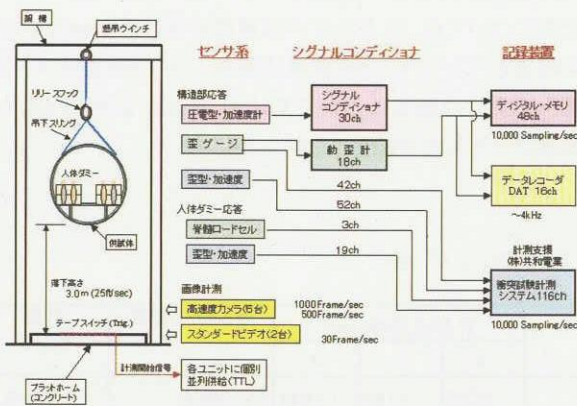


図12. 計測システムの概要

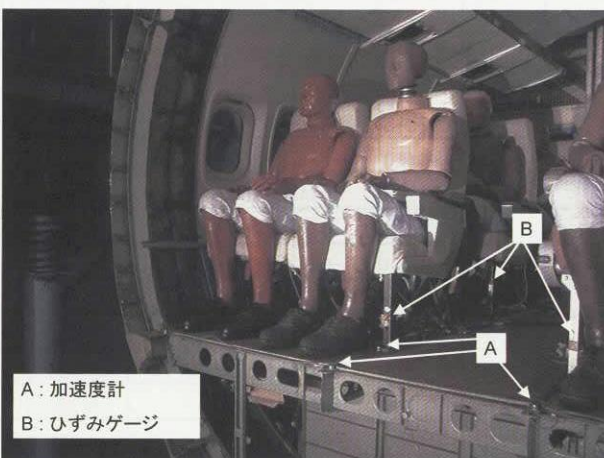


図11. センサ取付状況

可能な4kHzサンプリングとして収録した。Kyowa製衝突試験計測システムは、上記で記述したように、ひずみ変換型用とひずみゲージ用の前置増幅器を内蔵しており、これらの出力をチャンネル間同期したA/D変換を介して内蔵するメモリに記録する装置である。ここでは、記録間隔を10kHzサンプリングと設定してデータ収録した。本計測システムの記録装置としての主記録計と位置づけた。また、3機種のデジタル記録計によるデータ記録形式は異なっているため、試験後にそれぞれのデータをテキスト・ファイル形式に統一して再格納した。

高速度カメラはREDLAKA MASD社製のCR Imager 2000型(500 Frame/s)、PHOTRON社製のFASTCAM-Ultima-RGB(1000Frame/s)、Nac Image Technology社製のHVS-500C3型(500 Frame/s)、REDLAKA MASD社製のMotion Pro 2000color(500Frame/s)及びNac Image Technology社製のMEMRECAMfxK3 (1000Frame/s)の5台を用い、4台は前方方向から撮影し1台は後方の床下構造部分を撮影した。前方の1台は少し上方から撮影して人体ダミーの動き等を中心に、他の3台はほぼ平行に供試体床下部を中心に撮影し、接地速度及び変形量の画像解析に用いた。これらの計測装置の記録開始信号(トリガー)はマニュアルトリガーとブラットホームの上面に設置した感圧式テープスイッチ(長さ1m)によるOff-Onの立ち上がり信号を用いた。ここではスイッチ機構の動作の確実性を高めるためトリガー信号源を多重に設置した。

計測項目はフロアビーム、床下構造、シート及び人体ダ

ミー等に生じた加速度、荷重及びひずみとし、衝撃速度に対する応答を総合的に評価することと、衝撃解析モデルの開発に有用なデータを提供することを目的として決定した。計測点はフレーム、ストラット等の構造部分に加速度82点、人体ダミーの頭部、胸部及び腰部に加速度19点と腰椎部荷重3点の合計104点及びフレーム、ストラット、フロアビーム、シートの脚及び前後チューブ等の圧縮、曲げ変形ひずみ等の計測に60点の総計164点とした。表2に全ての計測点の位置と座標について、表3に前方胴体(今回)と後方胴体(前回)でのセンサ数の比較を示す。今回は前回に比べ人体ダミー腰部の加速度を増やし、荷物室床面の加速度を追加した。

2.7 データ処理

加速度、荷重及びひずみの全てのデータチャンネルに関して米国SAEが推奨する規定SAE J211/1¹⁰⁾を採用した。推奨は絶対的なものではないが試験での性能、データ処理方法等の統一性を達成することで国際的なデータベース化に対応できる。ここでは、全データの比較にCFC 60(-40dB/oct cut-off 100Hz)のデジタルローパスフィルタ処理、個々の応答比較には、人体ダミー各部でCFC 1000 (1659HzLPF相当)、乗物(Vehicle)でCFC 600 (1000HzLPF相当)と規定している。また、幾つかの代表点については、ほとんどの加速度応答は200msでほぼ0に収束しているため時刻歴応答データの接地時より約200msまでの範囲についてVisual Basic 6.0¹¹⁾を用いた高速フーリエ解析(FFT)を試みた。

表2. 計測点の位置と座標及び測定レンジ 4/1

計測点 記号	測定項目 (検出方向)	センサー取付位置	計測点座標(mm)			センサー型式	計測 レンジ
			x	y	z		
ACC01	加速度(Z)	FSTA-8080左シートレール-窓側	-8080	1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC02	加速度(Z)	FSTA-8080左シートレール-通路側	-8080	315	-644	AS200HA	±200 G
ACC03	加速度(Z)	FSTA-8080右シートレール-通路側	-8080	-315	-644	AS200HA	±200 G
ACC04	加速度(Z)	FSTA-8080右シートレール-窓側	-8080	-1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC05	加速度(Z)	FSTA-7758左シートレール-窓側	-7758	1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC06	加速度(Z)	FSTA-7758左シートレール-通路側	-7758	315	-644	AS200HA	±200 G
ACC07	加速度(Z)	FSTA-7758右シートレール-通路側	-7758	-315	-644	AS200HA	±200 G
ACC08	加速度(Z)	FSTA-7758右シートレール-窓側	-7758	-1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC09	加速度(Z)	FSTA-7278左シートレール-窓側	-7278	1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC10	加速度(Z)	FSTA-7278左シートレール-通路側	-7278	315	-644	AS200HA	±200 G
ACC11	加速度(Z)	FSTA-7278右シートレール-通路側	-7278	-315	-644	AS200HA	±200 G
ACC12	加速度(Z)	FSTA-7278右シートレール-窓側	-7278	-1160	-644	AS200HA	±200 G
ACC13	加速度(Z)	シート#1L 左前脚上部-下面	-7758	1160	-342	AS200HA	±200 G
ACC14	加速度(Z)	シート#1L 右前脚上部-下面	-7758	315	-342	AS200HA	±200 G
ACC15	加速度(Z)	シート#1L 前方チューブ中央-下面	-7758	738	-342	AS200HA	±200 G
ACC16	加速度(Z)	シート#1L 左後脚上部-下面	-7302	1160	-364	AS200HA	±200 G
ACC17	加速度(Z)	シート#1L 右後脚上部-下面	-7302	315	-364	AS200HA	±200 G
ACC18	加速度(Z)	シート#1L 後方チューブ中央-下面	-7302	738	-364	AS200HA	±200 G

表2. 計測点の位置と座標及び測定レンジ 2/4

計測点 記号	測定項目 (検出方向)	センサー取付位置	計測点座標(mm)			センサー型式	計測 レンジ
			x	y	z		
ACC19	加速度(Z)	人体ダミーATD#01 頭部Z	-7510	988	505	AS200HA	±200 G
ACC20	加速度(Z)	人体ダミーATD#01 胸部Z	-7510	988	180	ASM200BA	±200 G
ACC21	加速度(X)	人体ダミーATD#01 腰部X	-7510	988	-145	ASM200BA	±200 G
ACC22	加速度(Z)	人体ダミーATD#01 腰部Z	-7510	988	-145	ASM200BA	±200 G
ACC23	加速度(X)	人体ダミーATD#02 腰部X	-7510	488	-145	ASM100BA	±100 G
ACC24	加速度(Z)	人体ダミーATD#02 腰部Z	-7510	488	-145	ASM100BA	±100 G
ACC25	加速度(Z)	シート#1R 左前脚上部-下面	-7758	-315	-364	AS200HA	±200 G
ACC26	加速度(Z)	シート#1R 右前脚上部-下面	-7758	-1160	-364	AS200HA	±200 G
ACC27	加速度(Z)	シート#1R 前方チューブ中央-下面	-7758	-738	-342	AS200HA	±200 G
ACC28	加速度(Z)	シート#1R 左後脚上部-上面	-7302	-315	-354	AS200HA	±200 G
ACC29	加速度(Z)	シート#1R 右後脚上部-上面	-7302	-1160	-354	AS200HA	±200 G
ACC30	加速度(Z)	シート#1R 後方チューブ中央-下面	-7302	-738	-404	AS200HA	±200 G
ACC31	加速度(Z)	人体ダミーATD#04 頭部Z	-7510	-988	455	AS200HA	±200 G
ACC32	加速度(Z)	人体ダミーATD#04 胸部Z	-7510	-988	130	ASM200BA	±200 G
ACC33	加速度(X)	人体ダミーATD#04 腰部X	-7510	-988	-195	ASM200BA	±200 G
ACC34	加速度(Z)	人体ダミーATD#04 腰部Z	-7510	-988	-195	ASM200BA	±200 G
ACC35	加速度(Z)	FSTA-6390左シートレール-窓側	-6390	1160	-644	AS200HA	±200G
ACC36	加速度(Z)	FSTA-6390左シートレール-通路側	-6390	315	-644	AS200HA	±200G
ACC37	加速度(Z)	FSTA-6390右シートレール-通路側	-6390	-315	-644	AS200HA	±200G
ACC38	加速度(Z)	FSTA-6390右シートレール-窓側	-6390	-1160	-644	AS200HA	±200G
ACC39	加速度(Z)	シート#2L 左前脚上部-下面	-6870	1160	-342	AS200HA	±200G
ACC40	加速度(Z)	シート#2L 右前脚上部-下面	-6870	315	-342	AS200HA	±200G
ACC41	加速度(Z)	シート#2L 左後脚上部-下面	-6414	1160	-364	AS200HA	±200G
ACC42	加速度(Z)	シート#2L 右後脚上部-下面	-6414	315	-364	AS200HA	±200G
ACC43	加速度(X)	人体ダミーATD#06 腰部X	-6642	488	-145	ASM100BA	±100G
ACC44	加速度(Z)	人体ダミーATD#06 腰部Z	-6642	488	-145	ASM100BA	±100G
ACC45	加速度(Z)	シート#2R 左前脚上部-下面	-6870	-315	-364	AS200HA	±200G
ACC46	加速度(Z)	シート#2R 左後脚上部-下面	-6414	-315	-354	AS200HA	±200G
ACC47	加速度(Z)	人体ダミーATD#07 腰部Z	-6642	-488	-145	EGE2000J	±200G
ACC48	加速度(Z)	FSTA-5910左シートレール-窓側	-5910	1160	-644	AS200HA	±200G
ACC49	加速度(Z)	FSTA-5910左シートレール-通路側	-5910	315	-644	AS200HA	±200G
ACC50	加速度(Z)	FSTA-5910右シートレール-通路側	-5910	-315	-644	AS200HA	±200G
ACC51	加速度(Z)	FSTA-5910右シートレール-窓側	-5910	-1160	-644	AS200HA	±200G
ACC52	加速度(Z)	FSTA-5430左シートレール-窓側	-5430	1160	-644	AS200HA	±200G
ACC53	加速度(Z)	FSTA-5430左シートレール-通路側	-5430	315	-644	AS200HA	±200G
ACC54	加速度(Z)	FSTA-5430右シートレール-通路側	-5430	-315	-644	AS200HA	±200G
ACC55	加速度(Z)	FSTA-5430右シートレール-窓側	-5430	-1160	-644	AS200HA	±200G
ACC56	加速度(Z)	シート#3L 左前脚上部-下面	-5910	1160	-342	AS200HA	±200G
ACC57	加速度(Z)	シート#3L 右前脚上部-下面	-5910	315	-342	AS200HA	±200G
ACC58	加速度(Z)	シート#3L 左後脚上部-下面	-5406	1160	-364	AS200HA	±200G
ACC59	加速度(Z)	シート#3L 右後脚上部-下面	-5406	315	-364	AS200HA	±200G
ACC60	加速度(Z)	シート#3L 後方チューブ中央-下面	-5406	738	-364	AS200HA	±200G
ACC61	加速度(X)	人体ダミーATD#09 腰部X	-5682	988	-195	ASM100BA	±100G
ACC62	加速度(Z)	人体ダミーATD#09 腰部Z	-5682	988	-145	ASM100BA	±100G
ACC63	加速度(Z)	シート#3R 左前脚上部-下面	-5910	-315	-342	AS200HA	±200G
ACC64	加速度(Z)	シート#3R 右前脚上部-下面	-5910	-1160	-342	AS200HA	±200G
ACC65	加速度(Z)	シート#3R 左後脚上部-下面	-5406	-315	-364	AS200HA	±200G
ACC66	加速度(Z)	シート#3R 右後脚上部-下面	-5406	-1160	-364	AS200HA	±200G

表2. 計測点の位置と座標及び測定レンジ 3/4

計測点 記号	測定項目 (検出方向)	センサー取付位置	計測点座標(mm)			センサー型式	計測 レンジ
			x	y	z		
ACC67	加速度(Z)	シート#3R 後方チューブ中央-下面	-5406	-738	-364	AS200HA	±200G
ACC68	加速度(Z)	人体ダミー-ATD#11 頭部Z	-5682	-488	505	AS200HA	±200G
ACC69	加速度(Z)	人体ダミー-ATD#11 胸部Z	-5682	-488	180	EGE2000J	±200G
ACC70	加速度(X)	人体ダミー-ATD#11 腰部X	-5682	-488	-145	EGE2000J	±200G
ACC71	加速度(Z)	人体ダミー-ATD#11 腰部Z	-5682	-488	-145	EGE2000J	±200G
ACC72	加速度(Z)	荷物室 床上面(L/H)-A	-7758	315	-1280	B&K4393	±1000G
ACC73	加速度(Z)	荷物室 床上面(R/H)-B	-7758	-315	-1280	B&K4393	±1000G
ACC74	加速度(Z)	荷物室 床上面(L/H)-C	-6390	315	-1280	EMIC541A	±1000G
ACC75	加速度(Z)	荷物室 床上面(R/H)-D	-6390	-315	-1280	B&K4393	±1000G
ACC76	加速度(Z)	荷物室 床上面(L/H)-E	-4950	315	-1280	B&K4393	±1000G
ACC77	加速度(Z)	荷物室 床上面(R/H)-D	-4950	-315	-1280	B&K4393	±1000G
ACC78	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム 最頂部-外面	-8080	0	1440	B&K4393	± 316G
ACC79	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム左上側面-外面	-8080	1143	876	B&K4393	± 316G
ACC80	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム左ストラット下部-内面	-8080	740	-1254	B&K4393	±1000G
ACC81	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム最底部-内面	-8080	0	-1440	B&K4393	±1000G
ACC82	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム右ストラット下部-内面	-8080	-740	-1254	B&K4393	±1000G
ACC83	加速度(Z)	FSTA-8080フレーム右上側面-外面	-8080	-1143	876	B&K4393	± 316G
ACC84	加速度(Z)	FSTA-6390フレーム 最頂部-外面	-6390	0	1440	B&K4393	± 316G
ACC85	加速度(Z)	FSTA-6390フレーム左上側面-外面	-6390	1143	876	B&K4393	± 316G
ACC86	加速度(Z)	FSTA-6390フレーム左ストラット下部-内面	-6390	740	-1254	B&K4393	±1000G
ACC87	加速度(Z)	FSTA-6390フレーム右上側面-外面	-6390	-1143	876	B&K4393	± 316G
ACC88	加速度(Z)	FSTA-4950左シートレール-窓側	-4950	1160	-644	B&K4393	± 316G
ACC89	加速度(Z)	FSTA-4950左シートレール-通路側	-4950	315	-644	B&K4393	± 316G
ACC90	加速度(Z)	FSTA-4950右シートレール-通路側	-4950	-315	-644	B&K4393	± 316G
ACC91	加速度(Z)	FSTA-4950右シートレール-窓側	-4950	-1160	-644	B&K4393	± 316G
ACC92	加速度(Z)	FSTA-4950フレーム 最頂部-外面	-4950	0	1440	B&K4393	± 316G
ACC93	加速度(Z)	FSTA-4950フレーム左上側面-外面	-4950	1143	876	B&K4393	± 316G
ACC94	加速度(Z)	FSTA-4950フレーム左ストラット下部-内面	-4950	740	-1254	B&K4393	±1000G
ACC95	加速度(Z)	FSTA-4950最底部ストリンガー-内面	-4950	0	-1440	B&K4393	±1000G
ACC96	加速度(Z)	FSTA-4950フレーム右ストラット下部-内面	-4950	-740	-1254	B&K4393	±1000G
ACC97	加速度(Z)	FSTA-4950フレーム右上側面-外面	-4950	-1143	876	B&K4393	± 316G
ACC98	加速度(Z)	FSTA-6390左吊棚先端-上面	-6390	1143	876	B&K4393	±1000G
ACC99	加速度(Z)	FSTA-6390右吊棚先端-上面	-6390	-1143	876	B&K4393	±1000G
ACC100	加速度(Z)	FSTA-6390プラットホーム(ベース)	-6390	2000	-1590	MB304	±31.6G
ACC101	加速度(Z)	FSTA-6390プラットホーム(ベース)	-6390	4000	-1590	MB304	± 31.6G
Load1	荷重(Z)	人体ダミー-ATD#01 腰椎	-7510	988	-145	1708-120	±20 kN
Load2	荷重(Z)	人体ダミー-ATD#04 腰椎	-7510	-988	-195	1708-120	±20 kN
Load3	荷重(Z)	人体ダミー-ATD#11 腰椎	-5682	-488	-145	LUK-2TBS	2000kg
STR01	ひずみ(Z)	FSTA-8080左ストラット-中央側面(窓側)	-8080	745	-930	KFG-5-120	±10000 μ
STR02	ひずみ(Z)	FSTA-8080右ストラット-中央側面(窓側)	-8080	-745	-930	KFG-5-120	±10000 μ
STR03	ひずみ(Z)	FSTA-8080床ビーム中央-上面	-8080	0	-650	KFG-5-120	±10000 μ
STR04	ひずみ(Z)	FSTA-8080床ビーム中央-下面	-8080	0	-770	KFG-5-120	±10000 μ
STR05	ひずみ(Z)	シート#1L 前左脚-中央前面	-7758	1160	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR06	ひずみ(Z)	シート#1L 前右脚-中央前面	-7758	315	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR07	ひずみ(Z)	シート#1L 前脚チューブ中央-下面	-7758	738	-342	KFG-5-120	±10000 μ
STR08	ひずみ(Z)	シート#1L 後左脚-中央前面	-7302	1160	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR09	ひずみ(Z)	シート#1L 後右脚-中央前面	-7302	315	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR10	ひずみ(Z)	シート#1L 後脚チューブ中央-下面	-7302	738	-364	KFG-5-120	±10000 μ

表2. 計測点の位置と座標軸及び測定レンジ 4/4

計測点 記号	測定項目 (検出方向)	センサー取付位置	計測点座標(mm)			センサー型式	計測 レンジ
			x	y	z		
STR11	ひずみ(Z)	シート#1R 前左脚-中央前面	-7758	-315	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR12	ひずみ(Z)	シート#1R 前右脚-中央前面	-7758	-1160	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR13	ひずみ(Z)	シート#1R 前脚チューブ中央-下面	-7758	-738	-342	KFG-5-120	±10000 μ
STR14	ひずみ(Z)	シート#1R 後左脚-中央後面	-7302	-315	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR15	ひずみ(Z)	シート#1R 後右脚-中央後面	-7302	-1160	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR16	ひずみ(Z)	シート#1R 後脚チューブ中央-下面	-7302	-738	-404	KFG-5-120	±10000 μ
STR17	ひずみ(Z)	シート#2L 前左脚-中央前面	-6870	1160	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR18	ひずみ(Z)	シート#2L 前右脚-中央前面	-6870	315	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR19	ひずみ(Z)	シート#2L 前脚チューブ中央-下面	-6870	738	-404	KFG-5-120	±10000 μ
STR20	ひずみ(Z)	シート#2L 後左脚-中央前面	-6366	1160	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR21	ひずみ(Z)	シート#2L 後右脚-中央前面	-6366	315	-504	KFG-5-120	±10000 μ
STR22	ひずみ(Z)	シート#2L 後脚チューブ中央-下面	-6366	738	-404	KFG-5-120	±10000 μ
STR23	ひずみ(Z)	シート#3L 前左脚-中央前面	-5910	1160	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR24	ひずみ(Z)	シート#3L 前右脚-中央前面	-5910	315	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR25	ひずみ(Z)	シート#3L 前脚チューブ中央-下面	-5910	738	-342	KFG-5-120	±10000 μ
STR26	ひずみ(Z)	シート#3L 後左脚-吸収材上端	-5454	1160	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR27	ひずみ(Z)	シート#3L 後左脚-吸収材中央	-5454	1160	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR28	ひずみ(Z)	シート#3L 後左脚-吸収材下端	-5454	1160	-514	KFG-5-120	±10000 μ
STR29	ひずみ(Z)	シート#3L 後右脚-吸収材上端	-5454	315	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR30	ひずみ(Z)	シート#3L 後右脚-吸収材中央	-5454	315	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR31	ひずみ(Z)	シート#3L 後右脚-吸収材下端	-5454	315	-514	KFG-5-120	±10000 μ
STR32	ひずみ(Z)	シート#3L後脚チューブ中央-下面	-5454	738	-404	KFG-5-120	±10000 μ
STR33	ひずみ(Z)	シート#3R 前左脚-中央前面	-5910	-315	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR34	ひずみ(Z)	シート#3R 前右脚-中央前面	-5910	-1160	-494	KFG-5-120	±10000 μ
STR35	ひずみ(Z)	シート#3R 前脚チューブ中央-下面	-5910	-738	-342	KFG-5-120	±10000 μ
STR36	ひずみ(Z)	シート#3R 後左脚-吸収材上端	-5454	-315	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR37	ひずみ(Z)	シート#3R 後左脚-吸収材中央	-5454	-315	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR38	ひずみ(Z)	シート#3R 後左脚-吸収材下端	-5454	-315	-514	KFG-5-120	±10000 μ
STR39	ひずみ(Z)	シート#3R 後右脚-吸収材上端	-5454	-1160	-454	KFG-5-120	±10000 μ
STR40	ひずみ(Z)	シート#3R 後右脚-吸収材中央	-5454	-1160	-484	KFG-5-120	±10000 μ
STR41	ひずみ(Z)	シート#3R 後右脚-吸収材下端	-5454	-1160	-514	KFG-5-120	±10000 μ
STR42	ひずみ(Z)	シート#3R後脚チューブ中央-下面	-5454	-738	-404	KFG-5-120	±10000 μ
STR43	ひずみ(Z)	FSTA-7758左ストラット中央側面(窓側)	-7758	740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR44	ひずみ(Z)	FSTA-7758右ストラット中央側面(窓側)	-7758	-740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR45	ひずみ(Z)	FSTA-6390左ストラット中央側面(窓側)	-6390	740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR46	ひずみ(Z)	FSTA-5430左ストラット中央側面(窓側)	-5430	740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR47	ひずみ(Z)	FSTA-5430右ストラット中央側面(窓側)	-5430	-740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR48	ひずみ(Z)	FSTA-4950左ストラット中央側面(窓側)	-4950	740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR49	ひずみ(Z)	FSTA-4950右ストラット中央側面(窓側)	-4950	-740	-930	KFG-5-120	±20000 μ
STR50	ひずみ(Z)	FSTA-4950最頂部-外面	-4950	0	1440	KFG-5-120	±20000 μ
STR51	ひずみ(Z)	FSTA-4950左上側面-外側	-4950	1143	876	KFG-5-120	±20000 μ
STR52	ひずみ(Z)	FSTA-4950左床接続部-外側	-4950	-1100	-880	KFG-5-120	±20000 μ
STR53	ひずみ(Z)	FSTA-4950左床接続部-内側	-4950	-1060	-840	KFG-5-120	±20000 μ
STR54	ひずみ(Z)	FSTA-4950左ストラット下部-外側	-4950	740	-1310	KFG-5-120	±20000 μ
STR55	ひずみ(Z)	FSTA-4950左ストラット下部-内側	-4950	740	-1254	KFG-5-120	±20000 μ
STR56	ひずみ(Z)	FSTA-4950右ストラット下部-外側	-4950	-740	-1310	KFG-5-120	±20000 μ
STR57	ひずみ(Z)	FSTA-4950右ストラット下部-内側	-4950	-740	-1254	KFG-5-120	±20000 μ
STR58	ひずみ(Z)	FSTA-4950右床接続部-外側	-4950	-1100	-880	KFG-5-120	±20000 μ
STR59	ひずみ(Z)	FSTA-4950右床接続部-内側	-4950	1060	-840	KFG-5-120	±20000 μ
STR60	ひずみ(Z)	FSTA-4950最底部-内面	-4950	0	-1440	KFG-5-120	±20000 μ

表3. 装着位置とセンサ数の比較

センサ	前方胴体	後方胴体
加速度計 (構造)	82	72
加速度計 (人体ダミー及びダミーウエイト)	19	13
腰椎荷重 (人体ダミー)	3	3
ひずみゲージ (構造)	60	46
合計	164	134

3. 試験結果および考察

3.1 衝撃速度

衝撃速度はREDLAKA MASD社製のMotion Pro 2000color(500Frame/s)で撮像した画像データを動画解析ソフトウェアImage Express Motion Plus (SENSORS APPLICATION社製)を用いて解析した結果から算定した。図6に示したFSTA-8080左右フロアビーム/フレーム接続部、フロアビーム/左右ストラット接続部及びフロアビーム中央部の5点のマーカをターゲットとして、接地の約60ms前から接地までの垂直移動量を自動追尾し、各点についてそれぞれ二次曲線で近似し接地速度7.4m/sを得た。一例としてFSTA-8080右フロアビーム/フレーム接続部のターゲット追尾グラフを図13に示す横軸は時刻(ms)で縦軸はターゲット中心の高さである。図中の数式は最小二乗法で求めた二次曲線の方程式である。

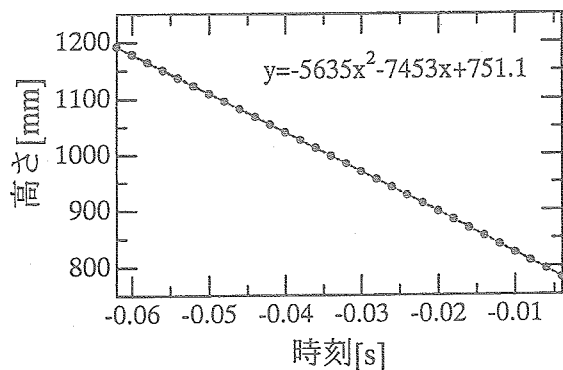


図13. FSTA-8080右フロアビーム/
フレーム接続部のターゲット追尾グラフ

3.2 変位量

図14に10 msごとの高速度カメラ画像データを示す。図中0 msで接地し、荷物室床下部のフレームが潰れ約62 msで最大変形状態になり、その後リバウンドしている様子が画像から観察される。床下部の最大変形量と接地後の経過時間は、画像解析により左右フロアビーム/フレーム接続部の設置時を0 mmとした場合の垂直方向移動量の平均値から求めた。図15に高速度カメラの画像解析から求めた左右フロアビーム/フレーム接続部の移動量の

平均値を示す。横軸は、供試体がプラットフォームと接触した時刻を0とした経過時間(ms)、縦軸は、FSTA-8080左右フロアビーム/フレーム接続部に貼付けたターゲットマークの垂直移動量(mm)を示す。結果としては最大圧縮時の変形量245mmと接地時点よりの経過時間62.2msを得た。前回は最大圧縮時の変形量220mmと接地時点よりの経過時間84msであり今回の結果は変形量で25mm大きく、経過時間で約20ms早くなっている。

フロアビーム及び床下部の変形量については、試験後に全装備品搭載時と人体ダミー、シート、床パネルを撤去した状態(胴体構造単体)について、フレーム位置毎にスケールを用いて計測を行った。フロアビーム/フレーム接続部に変形が認められないためFSTA-8080及びFSTA-4950の左右シートレールの窓側4点を基準とし、これらを仮想直線で結んだラインより下方向を正として計測した。FSTA-8080及びFSTA-4950フロアビームの最大変形は全装備品搭載時で4mm、装備品撤去時で5mmであった。表4にシートレール上面の変形を示す。表の数値は上段が全装備品搭載時(1600kg)、下段がシート、人体ダミー及びフロアパネル撤去時(518kg)の変形量である。床面の変形はFSTA-6390左シートレール通路側で最大13mmであったが、左右シートレール窓側では殆ど変形はなかった。表5に床下部の変形量を示す。代表的な変形量としては、全装備品搭載時でFSTA-8080での中央部の最大凹み量は193mmであった。またFSTA-4950での中央部の最大凹み量は151mmであった。

3.3 最大加速度と荷重

図16に加速度と荷重の代表点での時刻歴応答線図を示す。上段よりFSTA-8080でのフレーム最底部、フレーム右ストラット下部、左シートレール窓側、左シートレール通路側及びATD #01腰部の加速度と腰椎荷重である。左列(a)がCFC600またはCFC1000(人体ダミー)による結果、右列(b)がCFC60による結果である。ここで、横軸は供試体がプラットフォームに接地した時刻を0とした経過時間(ms)、縦軸は上下方向加速度(G)または荷重(kN)とし、上向方向を正とした。CFC600処理によるFSTA-8080フレーム最底部の応答では、接地直後の10ms近くで1000G以上の高い加速度が発生してその後は200G前後の加速度が60msくらいまで続いて後は徐々に収まっている。FSTA-8080フレームの右ストラット下部のピークは、第1次波が7.5msで-957G、主応答波が40.5msで1289Gとなっている。FSTA-8080左シートレール窓側では第1次波が13.1msで141G、次が58.7msで84Gとなっている。シートレール通路側では第1次波が18.8msで-51G、主応答波が55.0msで178Gとなっている。

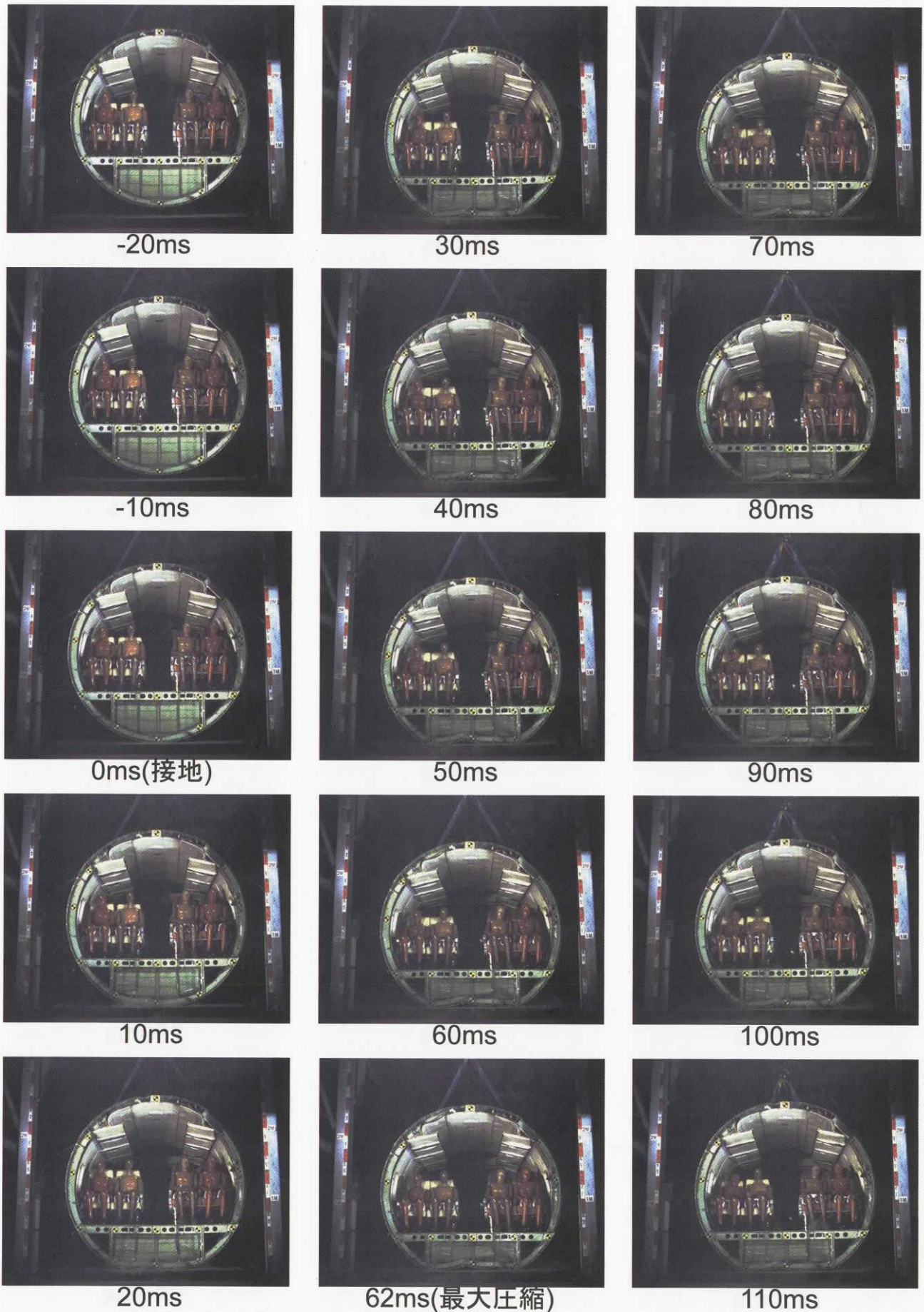


図14-1. 高速度カメラ画像(撮影速度 : 500Frame/s) -1/2



図14-2. 高速度カメラ画像(撮影速度 : 500Frame/s) -2/2

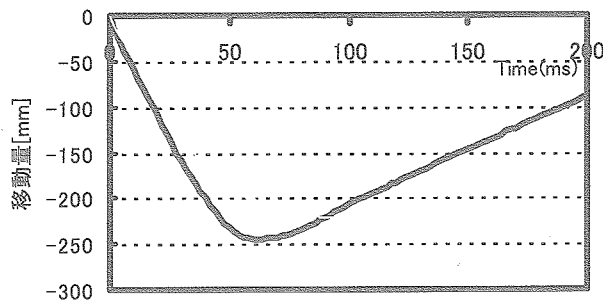


図15. 床面移動量

表4. シートレール上面の変形

FSTA	-8080	-7758	-7350	-6870	-6390	-5910	-5430	-4950
計測点								
右シートレール窓側 (フレーム接続部)	0	0	0	0	0	0	0	0
右シートレール通路側	3	7	12	11	11	9	8	0
左シートレール通路側	4	6	9	9	9	8	4	0
左シートレール窓側 (フレーム接続部)	0	0	0	0	0	0	0	0

注) : 上段は全装備品搭載時(1600kg)の変形量(mm)
下段は装備品及びフロアパネル撤去時(518kg)の変形量(mm)

表5. 床下部の変形

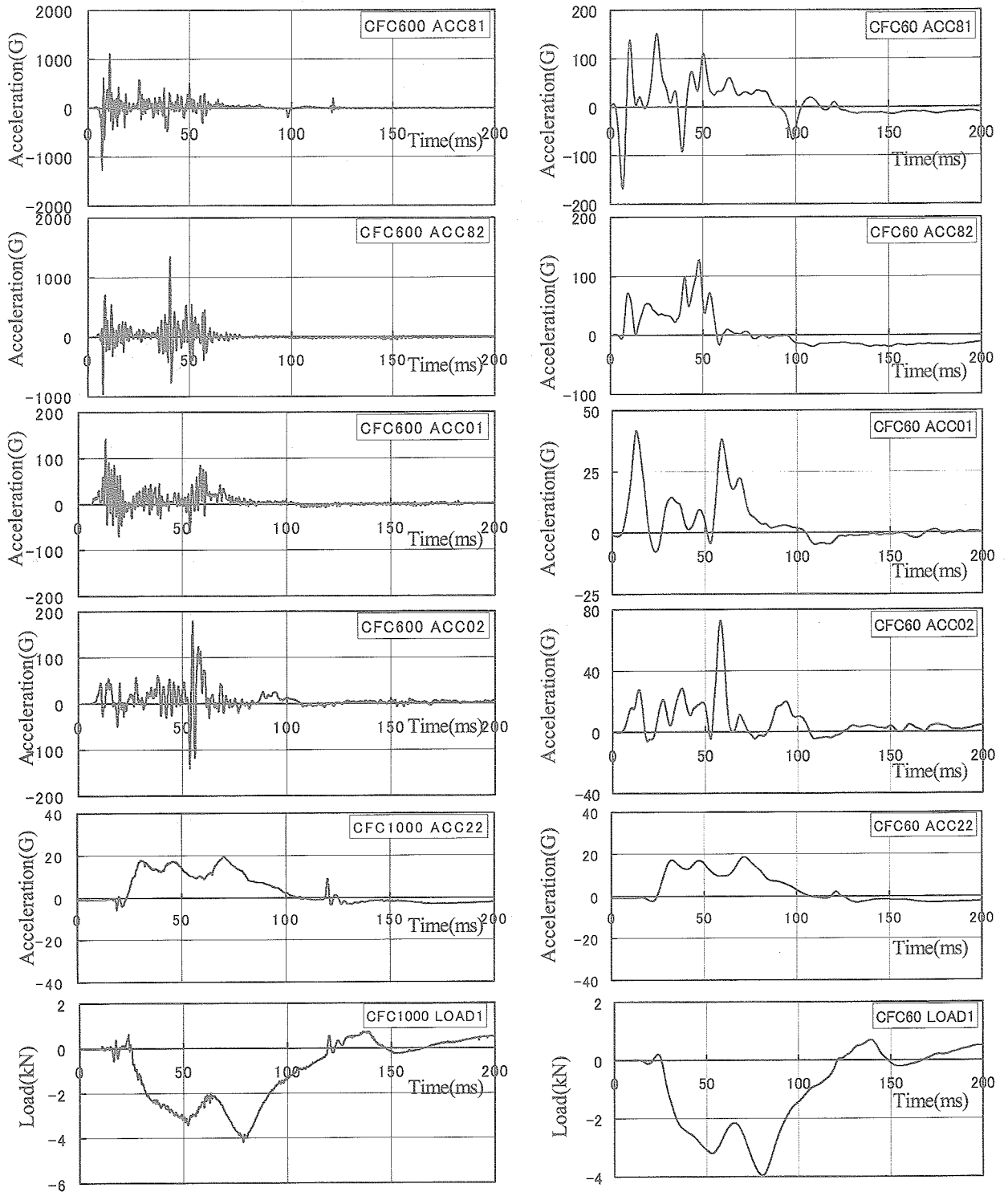
FSTA	-8080	-7758	-7350	-6870	-6390	-5910	-5430	-4950
計測点								
右ストラット部	23	---	---	---	---	---	---	22
中央部	12	15	15	---	10	11	13	11
左ストラット部	193	---	---	---	---	---	---	151
	187	---	---	---	---	---	---	123
	25	---	---	---	---	---	---	29
	18	23	17	15	10	11	5	10

注) : 上段は全装備品搭載時(1600kg)の変形量(mm)
下段は装備品及びフロアパネル撤去時(518kg)の変形量(mm)

CFC1000処理のATD #1腰部の最大加速度は70.3msで19.4G、腰椎最大荷重は78.8msで4.19kNであり、前回の人体ダミー腰部の最大加速度は18G~22G、腰椎最大荷重4.5kN~5.7kNと同程度の値であった。CFC60に比べCFC600または1000では胴体構造への加速度が10倍程度を示すものもあるが、人体ダミーの腰部の加速度と腰椎荷重はほぼ同じ値となっている。付録1に全計測点のCFC600またはCFC1000処理の加速度時刻歴応答及びCFC1000処理の圧縮荷重時刻歴応答線図を示す。付録2~付録4にCFC60処理の加速度時刻歴応答線図、CFC600処理のひずみ時刻歴応答線図及びCFC60処理のひずみ時刻歴応答線図を示す。ピーク到達時刻及び持続時間の算出は前回の後方胴体と同様、次のように定義し

た。ピーク到達時刻T0 は供試体の接地時を0msとした経過時間とする。持続時間Td はそのピークの発生時刻Ts から終了時刻Te までの時間として $Td = Te - Ts$ より算出する。ピークの形状が単峰の場合には、Ts 及びTe を波形の極性が変わる時間軸との交点をそれぞれTe、Ts とし、多峰状態の場合には、個々の顕著なピークT0 を頂点とする三角波でカーブフィットを行い、時間軸との交点をそれぞれTs、Teとした。

代表位置での最大加速度と発生時刻を上下の矢印の長さで図17と図18に示す。図17はCFC600またはCFC1000(人体ダミー)、図18がCFC60による結果である。図17より荷物室床部分で最大加速度745Gが生じている。図18よりシート取付部近傍の左シートレール部窓側の加



(A) CFC600
ATDはCFC1000(下2段)

(B) CFC60

図16. 加速度と荷重の代表点での時刻歴応答線図

上段より：FSTA-8080でのフレーム最底部、フレーム右ストラット下部、左シートレール窓側、左シートレール通路側及びATD#01腰部の加速度と腰椎荷重

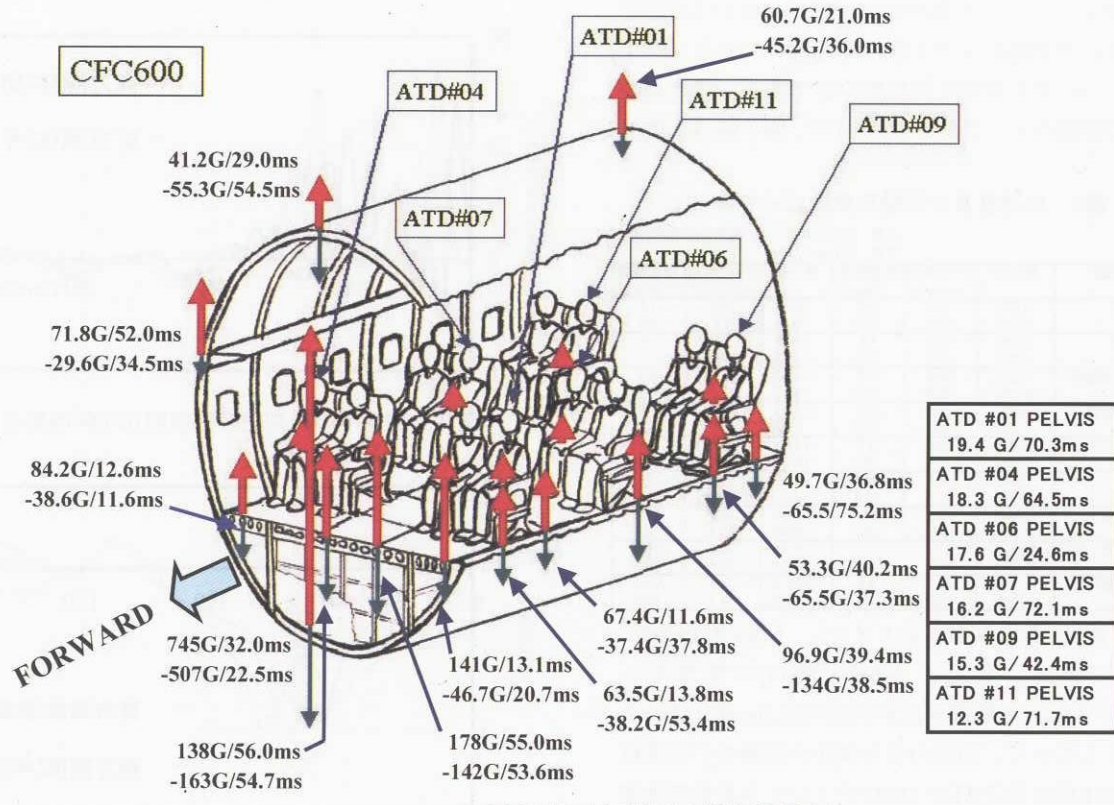


図17. 最大加速度と発生時刻(1)

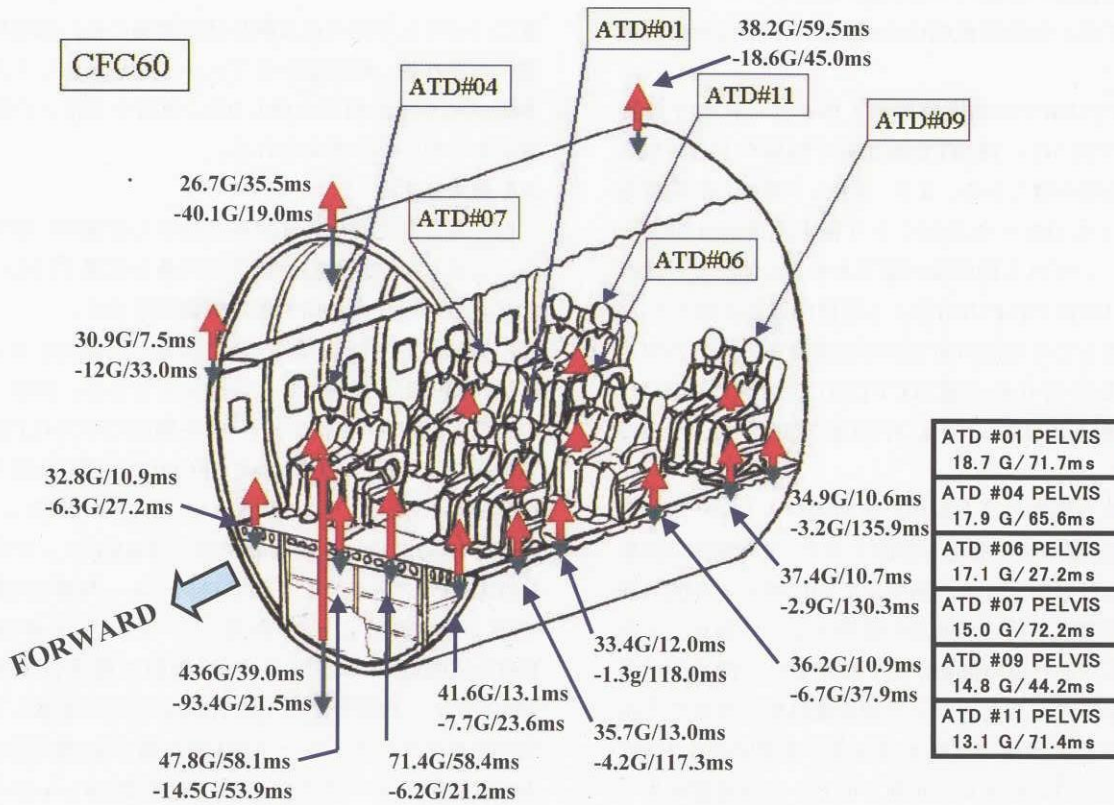


図18. 最大加速度と発生時刻(2)

速度はそれぞれ33.4G～37.4Gであり、前回の後方胴体の対応する左シートレール部窓側が28G～44Gとほぼ同等の値である。その他のシート取付部近傍のシートレール部加速度についても前回と同程度の値である。代表点の加速度及び荷重のピーク値を表6に示す。表の値は上段が

表6. 加速度及び圧縮荷重のピーク値

上段: CFC600、(*):人体ダミーはCFC1000、
下段: CFC60

センサー位置	最大値	ピーク時刻 (msec)	持続時間 (msec)	最大値	ピーク時刻 (msec)	持続時間 (msec)
フレーム最底部 (FSTA-8080)	1105G 152G	10.5 25.0	1.0 12.5	-1256G -167G	7.0 6.5	1.0 6.3
右ストラット下部 (FSTA-8080)	1289G 126G	40.5 47.5	1.5 10.4	-957G -19.5G	7.5 109.0	1.0 ---
左シートレール通路側 (FSTA-8080)	178G 71.4G	53.0 58.4	1.5 10.3	-142G -6.2G	53.6 21.2	1.5 5.1
左シートレール窓側 (FSTA-8080)	141G 41.6G	13.1 13.1	2.0 15.0	-46.7G -7.7G	20.7 23.6	1.0 6.1
シート後方チューブ (SEAT #1L)	33.7G 29.8G	20.6 16.5	7.7 18.2	-14.9G -10.6G	33.0 123.3	4.8 28.0
ATD#01腰部* (SEAT #1L)	19.4G 18.7G	70.3 71.7	50.5 36.4	-4.1G -3.0G	21.3 132.5	1.5 ---
ATD#01腰椎荷重* (SEAT #1L)	0.74kN 0.73kN	139.2 138.9	20.0 25.7	-4.19kN -3.96kN	78.8 80.4	52.7 52.3
ATD#04腰椎荷重* (SEAT #1R)	0.69kN 0.59kN	17.1 19.1	6.4 8.3	-3.07kN -3.06kN	70.4 72.4	80.7 76.1
ATD#11腰椎荷重* (SEAT #3R)	0.55kN 0.35kN	21.8 22.0	8.3 8.3	-3.62kN -3.62kN	74.7 74.7	76.1 83.5

CFC600またはCFC1000(人体ダミー)、下段がCFC60による結果である。また、表6のCFC60の結果からFSTA-8080フレーム最底部は約152G(25.0ms)と高い加速度が発生していて、前回の後方胴体の試験での同等位置である胴体最前列(FSTA+1800)のフレーム最低部加速度98G(2.5ms)と比べ約1.5倍高い値である。FSTA-8080フレームの右ストラット下部は約126G(47.5ms)であり前回の後方胴体の試験でのFSTA+1800フレームの右ストラット下部の加速度値67G(49.2ms)の2倍程度高い値である。

図18のCFC60での前方胴体の人体ダミーに対する腰部加速度は13.1G～18.7Gであり後方胴体の17G～20Gとほぼ同程度の値である。また、表6より腰椎の圧縮荷重の最大値は-4.4kN～-5.7kNであり後方胴体の-4.5kN～-5.7kNと、いずれも同程度の値である。人体ダミーについてCFC1000とCFC60による数値的差異は殆どなかった。参考までに今回の前方胴体は荷物室の床での加速度を測定しておりその値はCFC60で120G～494G(FSTA-4950,FSTA-6390及びFSTA-7758)と大きな値であった。

図19に前方胴体と後方胴体の最前列シートレール部窓側Z方向加速度の時刻歴応答線図を示す。後方胴体の結果は時間幅の短い加速度の波形であるのに対して今回の前方胴体は時間幅の長い加速度の波形となっており、エネルギーが同じであれば時間幅が長いほど長い時間をかけてエネルギーを吸収するためピーク加速度は低くなることから吸収すべき供試体の運動エネルギーが前回の約1.7倍に相当するほどのシートレール部でのピーク加速度が生じない結果となった一要因と考えられる。また、図20での前方胴体と後方胴体の人体ダミー#1における腰椎荷

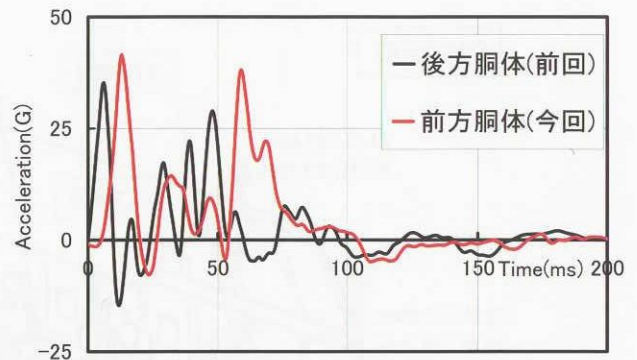


図19. 加速度の時刻歴応答線図 (CFC60の処理)

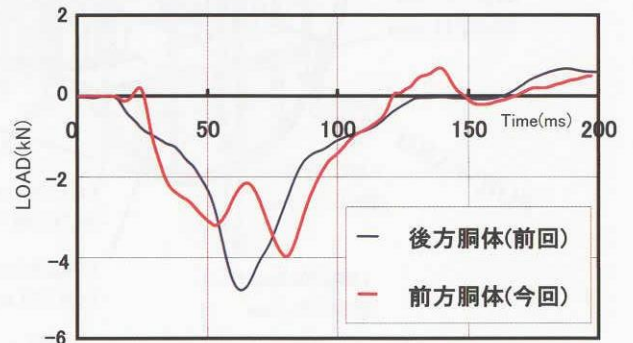


図20. 腰椎荷重の時刻歴応答線図 (CFC60の処理)

重についても今回の前方胴体は時間幅の長い加速度の波形、つまり長い時間をかけてエネルギーを吸収したため、運動エネルギーが前回の約1.7倍に相当するほどの腰椎荷重が生じなかつと考えられる。

3.4 最大ひずみ

ひずみの計測点は各部材長さの中心位置等に設置したが、必ずしも座屈及び曲げ応力の最大位置ではない。図21に代表的ひずみの時刻歴応答線図を示す。ここで、横軸は供試体がプラットホームに接地した時刻を0とした経過時間(ms)、縦軸はひずみ値 $\mu\epsilon$ である。図中、右下のFSTA-8080右ストラット・中央側面ひずみはCFC60処理後の値であり、他は全てCFC60で処理した値である。FSTA-8080床ビーム中央・下面が約2800 $\mu\epsilon$ 、FSTA-4950フレーム最底部・内面で約4800 $\mu\epsilon$ であった。FSTA-4950ストラット下部のフレーム・内面では最大ひずみが約5000 $\mu\epsilon$ である。ストラット単体ではFSTA-8080右ストラット中央・側面で最大ひずみが約10500 $\mu\epsilon$ 、残留ひずみも約7000 $\mu\epsilon$ あり座屈して塑性変形を生じている。シート#1L後左脚中央・前面及びシート#1R前脚チューブ中央・下面では約2000 $\mu\epsilon$ 以下であったがシート#3L後脚チューブ中央・下面は最大ひずみが約11000 $\mu\epsilon$ であった。試験後に実施した寸法計測にお

いても、YS-11のオリジナルシート全ての後方チューブが中央部で最大5mm程度の塑性変形を生じていた。16G対応シート(シート#1)は試験前の健全形状の数値と一致していたことから塑性変形には至らなかった。また、ひずみの初期応答波は10ms付近に、主応答波はフレーム最底部及びストラットで約30ms、フロアビーム及びシート脚等で約70msで発生した。ひずみ速度はFSTA-8080右ストラット中央・側面の立ち上がり部分で最高2/s、その他の部分では0.5/s以下であった。

3.5 周波数解析

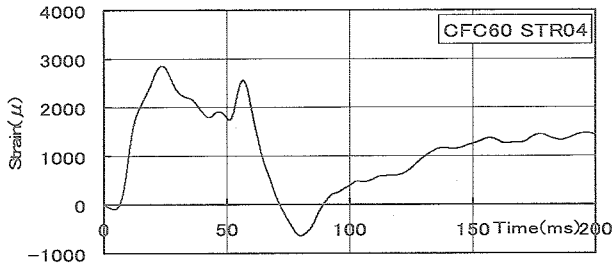
構造の固有振動数とピーク波形等との関係をVisual Basic 6.0を用いた高速フーリエ変換(FFT)で確認した。

図22に加速度の時刻歴応答とFFT解析を示す。応答は、1kHz以上の高域部分の周波数成分が微小であったため、表示する周波数解析の横軸の周波数範囲を1kHzまでとした。また、入力信号の性質上、低周波数成分が強調される傾向が大きかったが窓関数Hammingを用いた。図は上段(A)よりFSTA-8080フレーム最頂部の加速度時刻歴応答、(B)同位置のFFT解析結果と(C)FSTA-8080右シートレール通路側、(D)#1Lシート左前脚柱上部及び(E)後方チューブ中央部のFFT解析例である。(B)から18.6Hzに顕著なピークが確認できる。試験では、胴体変形の固有振動数は確認することはできなかったが、この値は、上部胴体フレーム構造の固有振動数の1つと考えられる。(C)のシートレールでは、24.4Hz、87.9Hzおよび195.4Hzに顕著なピークがある以外、大きな応答は見あたらない。(D)のシート脚上部では9.8Hzと29.3Hzに最も顕著なピークがあった。(E)のシート後方チューブでも、(D)と同様に9.8Hzと29.3Hzにピークが確認された。この9.8Hzの低い振動数は人体ダミーを含むシート全体の固有振動数の1つと考えられる。

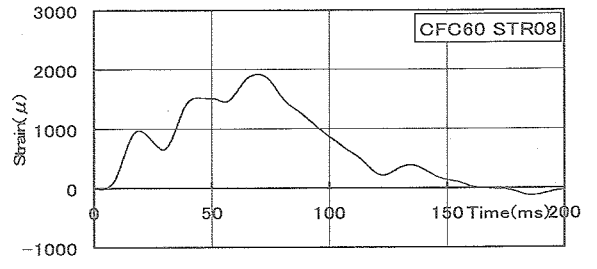
3.6 目視検査結果

試験終了後、構造及び内装品について目視検査を実施した結果、床下エリアではストラット、フレームおよび荷物室前後隔壁の座屈が確認され、客室エリアではNALの改良型シートを含むYS-11のオリジナルシート全ての後方チューブ中央部で最大5mmの塑性変形が確認された。16G対応シートには変形等が確認されなかった。図23、図24に落下後の客室内の状況を示す。図23は前方からの状況であり、図24は後方からの状況である。両図より落下後、床フレーム破壊および内装品の脱落等は生じていない。図25から図43に代表的位置での座屈及び変形の例を示す。図25は前方方向からの荷物室及びFSTA-8080フレームの座屈状況を示した写真で荷物室の床板位置でフレームが潰れて平らになっている。図26は後方方向からの荷物室及びFSTA-4050フレームの座屈状

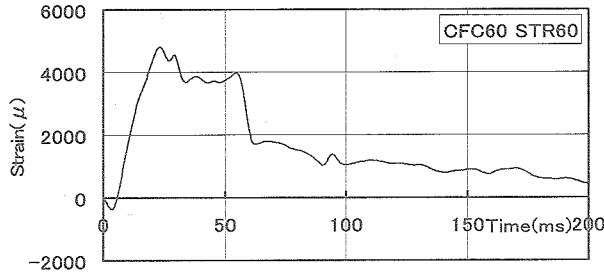
況を示した写真で荷物室の床板位置でフレームが潰れて平らになっている。図27は前方より荷物室左側フレームの座屈状況を示している。フレームの座屈が確認できる。図28は前方より荷物室右側の破損状況を示している。手前から2番目のFSTA-7758フレームが荷物室右側面下部で破断している。図29は後方より荷物室左側フレームの座屈状況を示している。全てのフレームが荷物室側面から約150mmの位置で座屈している。図30は後方より荷物室右側フレームの座屈状況を示している。一番手前のFSTA-4950フレームに座屈が生じているがその先のフレームには座屈が見られない。これは、荷物室右のFSTA-6090からFSTA-7350の間に荷物室ドア及びその補強があり剛性が高く変形しにくい構造になっているためと考えられる。図31は前方からのFSTA-7758荷物室左フレームの状況で、荷物室横のフレームが座屈している。図32は前方からのFSTA-7758荷物室右フレームの状況で、荷物室の側面近くでフレームが座屈している。



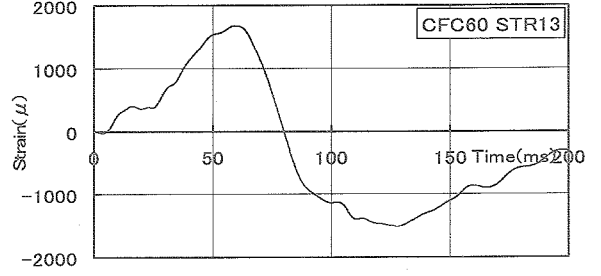
FSTA-8080床ビーム中央一下面(CFC60)



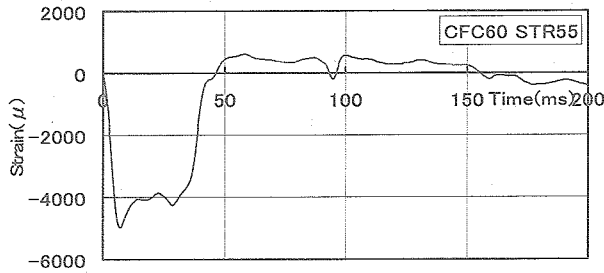
シート#1L後左脚中央一前面(CFC60)



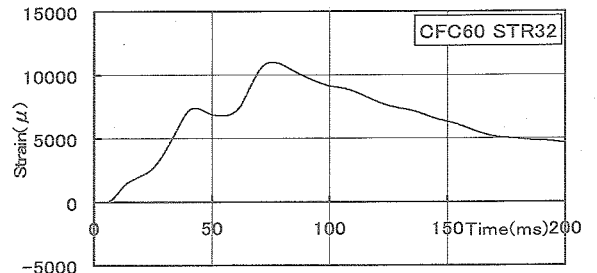
FSTA-4950最底部一内面(CFC60)



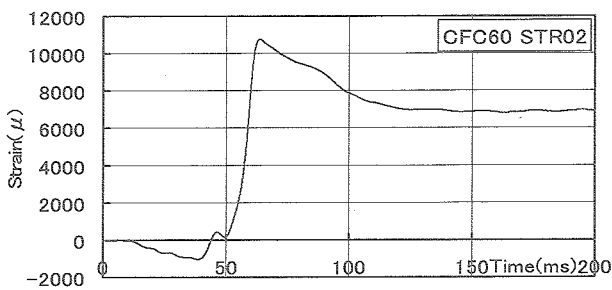
シート#1R前脚チューブ中央一下面(CFC60)



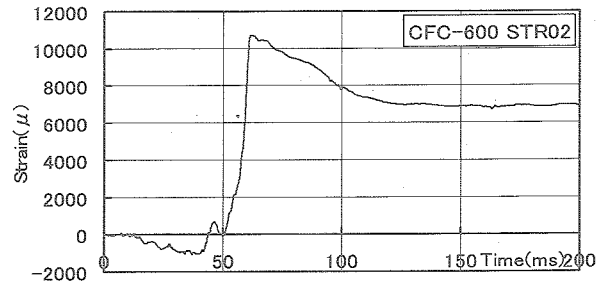
FSTA-4950左ストラット下部一内面(CFC60)



シート#3L後脚チューブ中央一下面(CFC60)

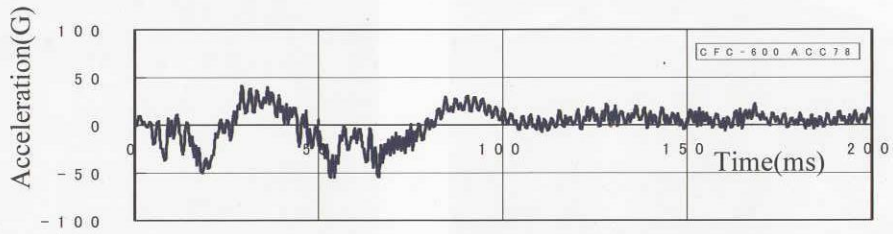


FSTA-8080右ストラット中央一側面(CFC60)

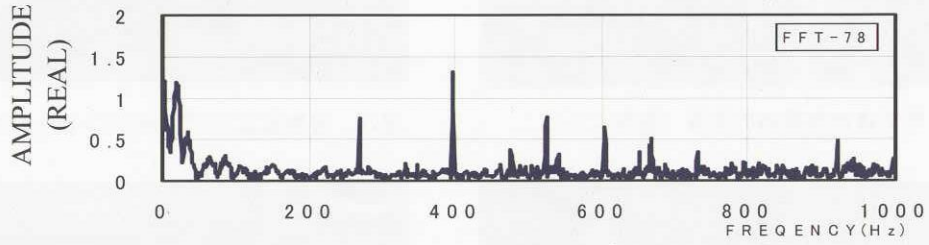


FSTA-8080右ストラット中央一側面(CFC600)

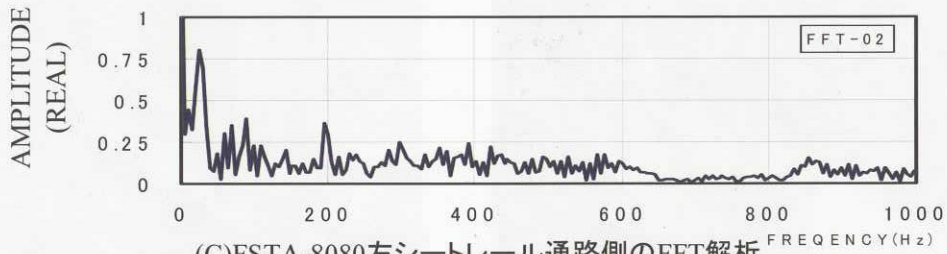
図21. 代表的ひずみの時刻歴応答線図



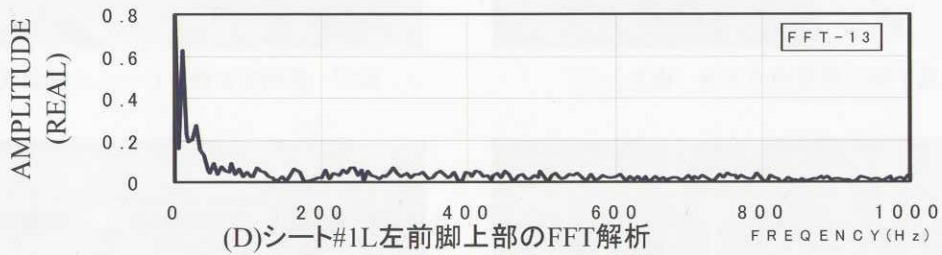
(A)FSTA-8080フレーム最頂部の時刻歴応答線図



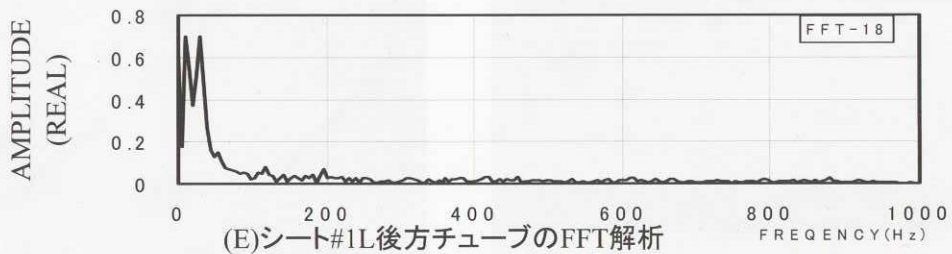
(B)FSTA-8080フレーム最頂部のFFT解析



(C)FSTA-8080左シートレール通路側のFFT解析



(D)シート#1L左前脚上部のFFT解析



(E)シート#1L後方チューブのFFT解析

図22. 加速度の時刻歴応答とFFT解析

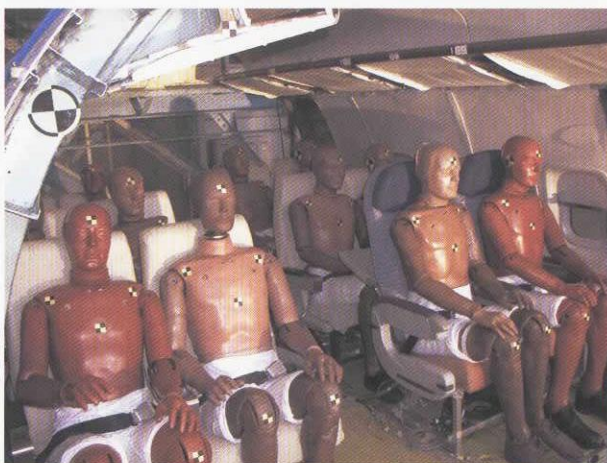


図23. 落下後の客室内の状況（前方より）

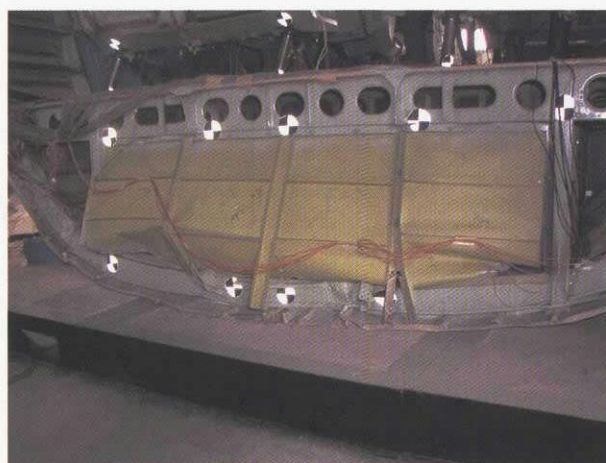


図26. 荷物室及びFSTA-4050フレームの座屈状況（後方より）

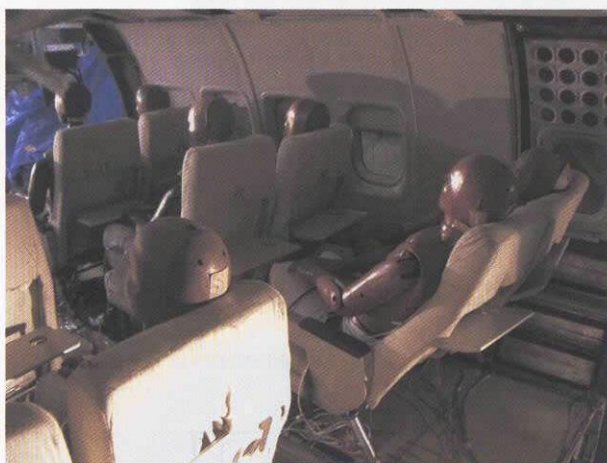


図24. 落下後の客室内の状況（後方より）



図27. 荷物室左側フレームの座屈状況（前方より）

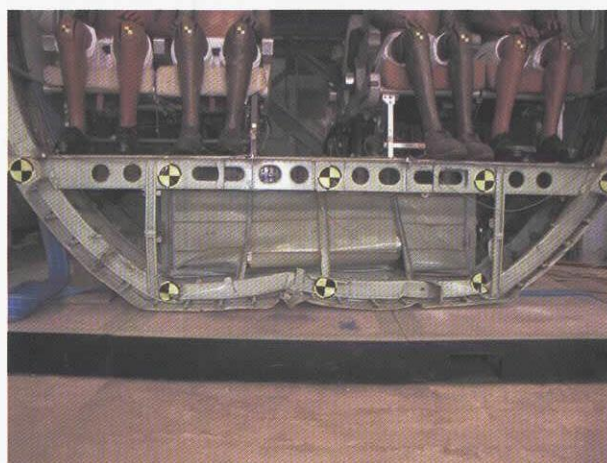


図25. 荷物室及びFSTA-8080フレームの座屈状況
（前方より）



図28. 荷物室右側フレームの座屈状況（前方より）



図29. 荷物室左側フレームの座屈状況 (後方より)



図32. FSTA-7758荷物室右フレームの座屈状況 (前方より)

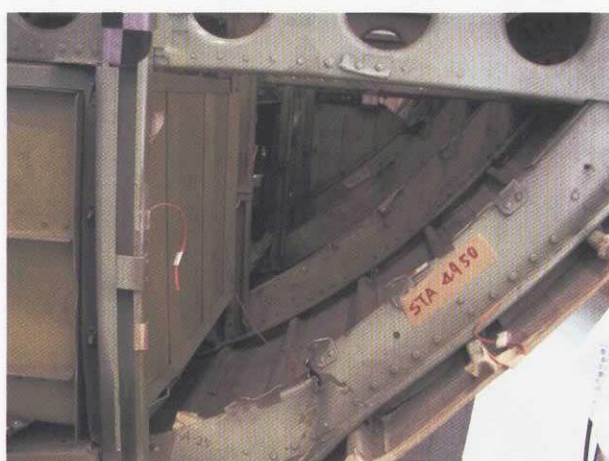


図30. 荷物室右側フレームの座屈状況 (後方より)



図33. FSTA-7350荷物室左フレームの座屈状況 (前方より)



図31. FSTA-7758荷物室左フレームの座屈状況 (前方より)



図34. FSTA-6870荷物室左フレームの座屈状況 (前方より)

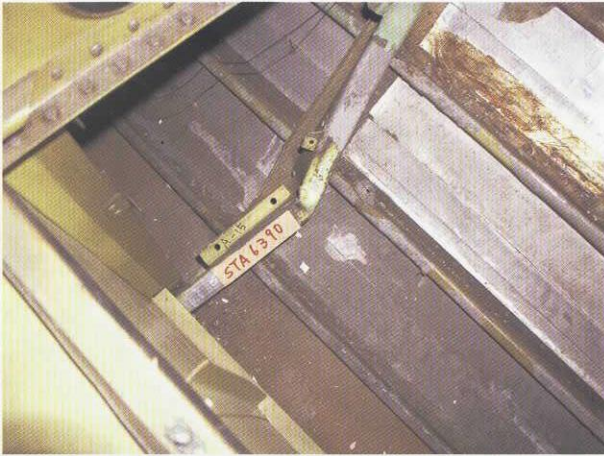


図35. FSTA-6390荷物室左フレームの座屈状況(前方より)

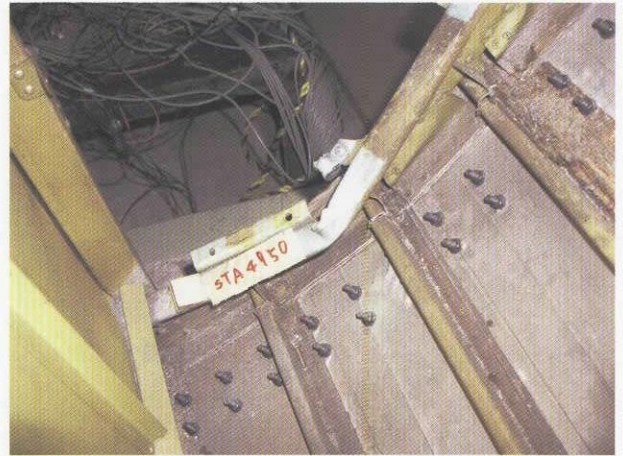


図38. FSTA-4950荷物室左フレームの座屈状況(前方よ



図36. FSTA-5910荷物室左フレームの座屈状況(前方より)

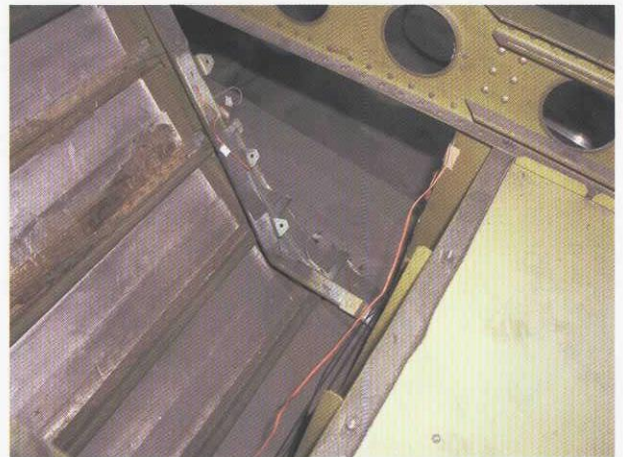


図39. FSTA-4950荷物室右フレームの座屈状況(前方よ



図37. FSTA-5430荷物室左フレームの座屈状況(前方より)



図40. FSTA-8080フレーム右下の座屈状況(前方よ

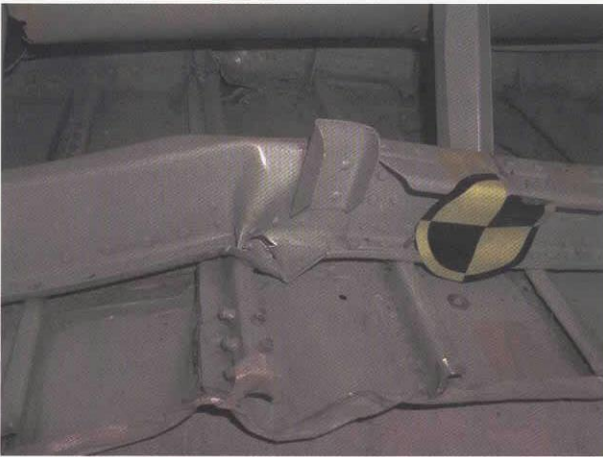


図41. FSTA-8080フレーム最底部の座屈状況(前方よ



図42. FSTA-8080フレーム左下の座屈状況(前方より)

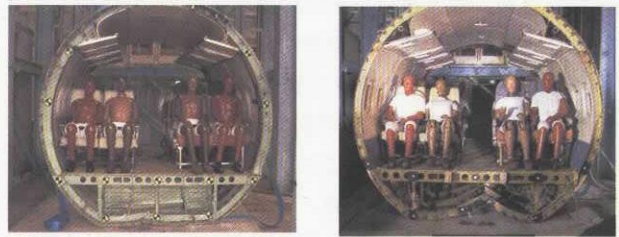


図43. 荷物室内部の状況(右荷物室ドア側から)

図33から図38は前方から見た荷物室左のFSTA-7350、FSTA-6870、FSTA-6390、FSTA-5910、FSTA-5430、FSTA-4950フレームの状況で、荷物室側面のほぼ同じ位置で座屈している。図39は前方からの荷物室右FSTA-4950フレームの座屈状況を示している。図40から

図42はそれぞれFSTA-8080フレーム右下、最底部及び左下の座屈状況を示している。FSTA-8080フレーム右下及び左下のターゲットマークのところ座屈し崩壊している様子が見られる。また、FSTA-8080フレーム最底部ではフレームが座屈して平らに潰れている様子が見られる。図43は右荷物室ドアから観測した荷物室内部の状況である。荷物室の底板の手前側の一部が下から突き上げられた状態ではがれているものの、全体的には荷物室の底板が平らな状態を維持している。

図44に後方胴体と前方胴体の落下試験後の胴体部分、図45に後方胴体と前方胴体の破壊様相の比較を示す。

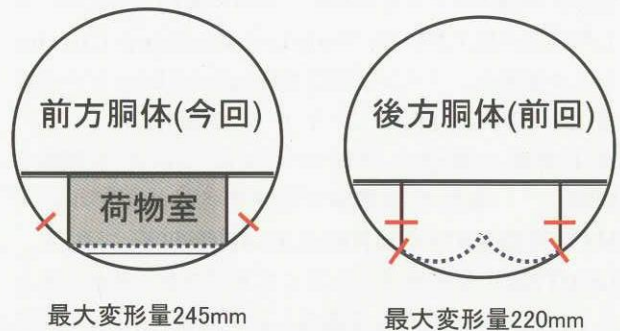


前方胴体(今回)

後方胴体(前回)

図44. 落下試験後の胴体部分

後方胴体の落下試験後の状態は全てのフレームが最底部と左右ストラット接続部の部分で曲げ崩壊して最底部が上に突き上げられた状態であるが、前方胴体は荷物室外側でフレームが座屈し、さらに荷物室下のフレームの円弧部分が荷物室床面を突き上げる形でほぼ平らに潰れている。この破壊形態の違いが図19、図20に示したような加速度及び腰椎荷重時刻歴応答波形の違いに現われたと考えられる。



最大変形量245mm

最大変形量220mm

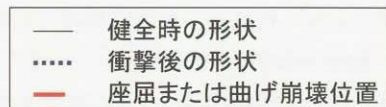


図45. 破壊様相の比較

4. 衝撃解析

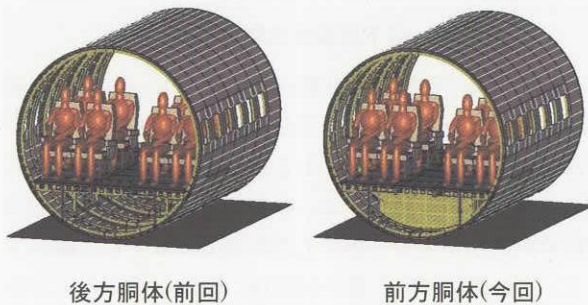
4.1 概要

解析は、自動車衝突問題をはじめ、金属加工現象や携帯電話の落下問題等、世界的に幅広く用いられ、近年では人体ダミー・モデルも統合しつつある陽解法有限要素法解析コードLS-DYNA3D¹²⁾を使用した。

自動車分野等での有限要素法衝撃解析では、約100msec程度の解析に数日単位の解析時間を要するのが一般的であり、パラメトリックな解析検討等には馴染まないため、本解析モデルでは大変形が予想される床下部材に細かい要素分割を確保しつつ解析時間を可能な限り短縮するため、極力解析モデルの簡素化を進めた。

4.2 胴体構造モデル及び床下荷物室モデル

図46に後方胴体および前方胴体についての解析モデルの概要を示す。今回の前方胴体の胴体構造モデル化では外板、フレーム、シアタイ、フロアビーム、ストラット、シアタイとフランジの結合部、ストリング及び窓フレームは、全て前回の後方胴体と同じ要素を用いた。前方胴



後方胴体(前回)

前方胴体(今回)

図46. 衝撃解析モデルの概要

体のモデルは胴体構造モデルに床下荷物室モデルを追加した構成になっている。床下荷物室モデルの床下荷物室壁部には胴体モデルと同様に、部材の大ひずみ変形に対して精度の低下が少ないBelytschko-Wong-Chiang シェル要素を、フランジ部にはHughes-Liu ビーム要素(LS-DYNA3Dのデフォルト要素)を用いた。床下荷物室構造の材料モデルについても胴体と同様に、一般的な金属等方性弾塑性材料モデルの***MAT_PIESEWISE_LINEAR_PLASTISITY**(これは、LS-DYNA3Dを利用するためにプリプロセッサから与える入力データの固有な定義名。以下同様)を用いて7075材の特性を定義した。なおファスナー継手等は省略しモデルの簡素化を計った結果、荷物室単体での総要素数は約3,300、総節点数約2,900となっている。その結果、荷物室を有する前方胴体のモデルでは総要素数約60,000、総節点数約61,000となり、衝突時を0msとして100msまでの解析がワークステーション上で約20時間程度となっている。

4.3 乗客シートモデル及び人体ダミー・モデル

本解析に用いたYS-11乗客シートの解析モデル概要を図47に、人体ダミー・モデルを図48に示す。乗客シート



図47. YS-11客室シートの解析モデル概要

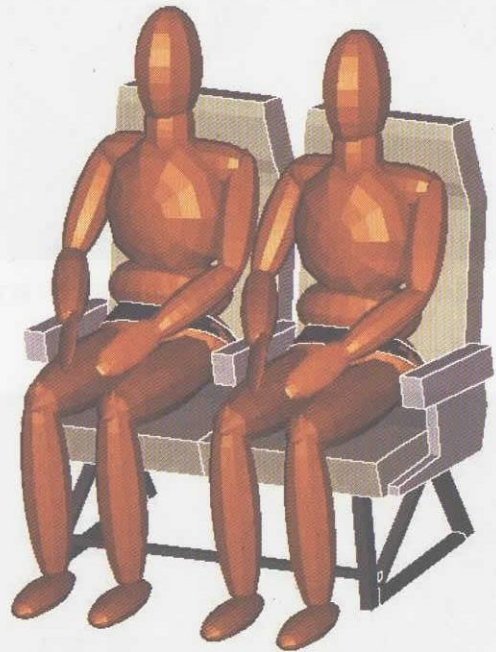


図48. 人体ダミー・モデル

モデルの各要素は全て前回と同じであるが、今回はシート座面の剛性について、実際に試験をして得られたデータを基にモデルの諸数値を設定した。胴体構造モデルと同様にモデルの簡素化を計った結果、シート単体での総要素数は4,300、総節点数5,000となっている。

人体ダミー・モデルについても各要素は全て前回と同じであるが、今回はシート/人体ダミー・モデルについては、シートのスレッド試験(人体ダミーを乗せたシートを衝突させる試験)を別途実施し、シート/人体ダミーの相関について試験から得られたデータを基にモデルの諸

数値を設定した。スレッド試験結果については別途報告する。

4.4 解析条件

解析モデルでは、1列目および2列目にシートを4脚と人体ダミーモデル8体を搭載し、3列目の2脚分については相当質量分のダミーウエイト(バラスト)を配置させた。解析条件は、胴体断面落下試験条件に合わせて、後方胴体が6.1m/s(20ft/s)、前方胴体は7.6m/s(25ft/s)の落下速度で水平姿勢のまま剛地面に衝突させた。

4.5 後方胴体

4.5.1 床面速度

図49にフィルタ未処理の加速度データを積分して得

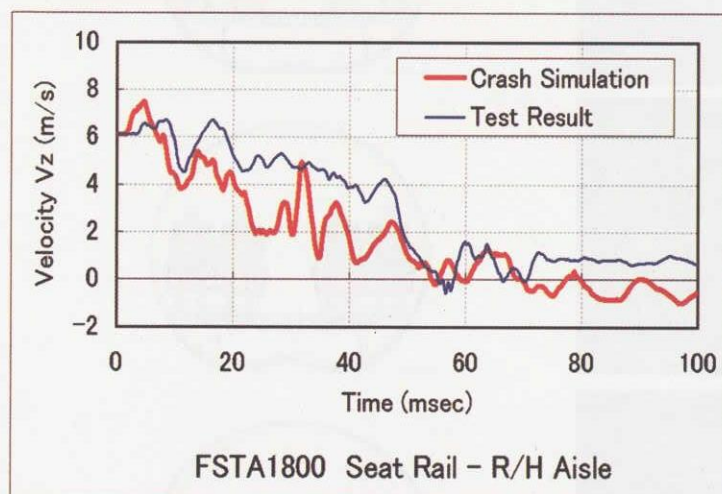


図49. 後方胴体の代表的な床面速度時刻歴に関する解析と試験との比較

られた代表的な床面速度時刻歴に関する解析と試験との比較を示す。解析、試験共に積分に当たっては10,000サンプル/秒以上のフィルタ未処理加速度データを用いている。図中の試験結果では、初速度6.1m/sが約60msec後に速度零となる平均傾斜から床面の基本平均加速度は約10G付近、また局所的傾斜が平均傾斜の約3倍程度であることから床面の基本ピーク加速度は約30G程度であることがわかる。図からわかるように、解析及び試験での床面速度は概ね一致している。

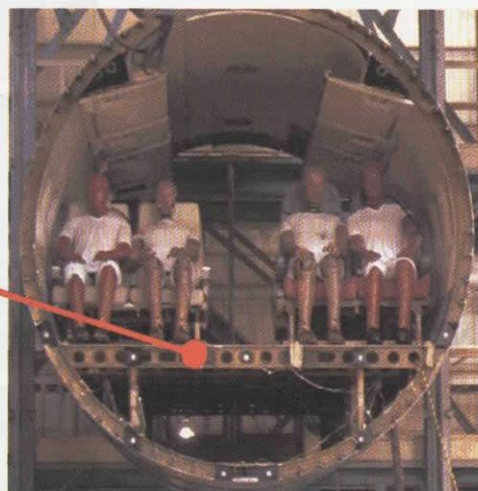
4.5.2 破壊様相

後方胴体の破壊様相に関する解析と試験との比較を図50に示す。衝突時を0msとし、20ms間隔で80msまで示してある。左の写真が高速ビデオで撮った試験結果であり、右はLS-DYNA3Dでの解析結果である。後方胴体の最終的破壊様相に関する解析と試験との比較を図51に示す。胴体下部フレームでの最初の衝撃から約40msec後付近でストラットが接地し始めるとともに、胴体下部フレームの中央部とストラット下部が曲げ破壊を生じている。解析は試験での全般的な破壊過程を良好にシミュレート

している。後方胴体の床下破壊様相に関する解析と試験との比較を図52に示す。図から解るように、集中質量要素、ビーム要素及びバネ要素でモデル化するKRASH等のハイブリッド法では表現出来なかった複雑な胴体下面フレーム破壊モードを良好に表現しているのがわかる。

4.5.3 加速度

加速度の検討に当たっては、下方衝撃下の着座人体において重要な評価指標となる上半身上下応答のピークが約9Hz前後にあり¹³⁾、応答周波数帯としてはその2倍程度をほぼ上限と見なすことが出来るため、本周波数帯から大きく外れる加速度パルスを検討から除外し衝撃現象の理解を助けるため、30Hzローパス・フィルタにほぼ

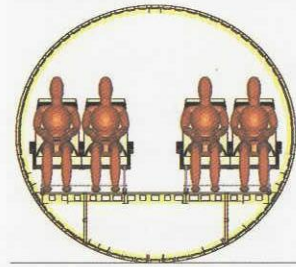


相当するSAE J211/1のCFC20を適用した。代表的な胴体加速度時刻歴に関する解析と試験との比較を図53に示す。

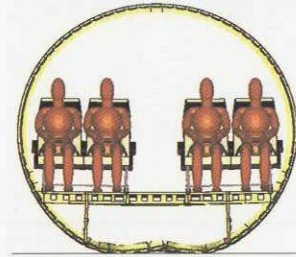
図から解るように、試験での床面シートレール通路側のピーク加速度は約30G程度となっており、前述の図49で確認された床面基本ピーク加速度を良好に表現していることから、CFC20適用が妥当であったことがわかる。

人体ダミー胸部加速度を含め全般的に、解析と試験との間の加速度ピークの間には概ね20%前後の差異が見られるが、ダミー胸部及びFSTA1800右ストレージ取付部での加速度時刻歴の解析と試験の比較では全体的波形の一致が見られる。

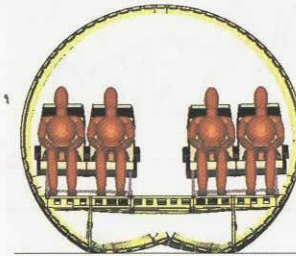
0 msec



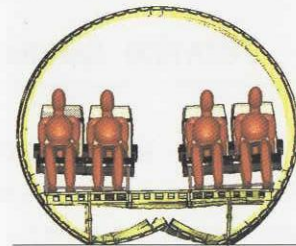
20 msec



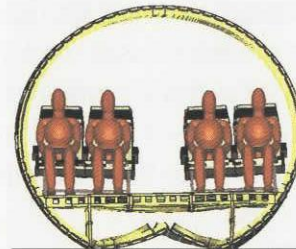
40 msec



60 msec



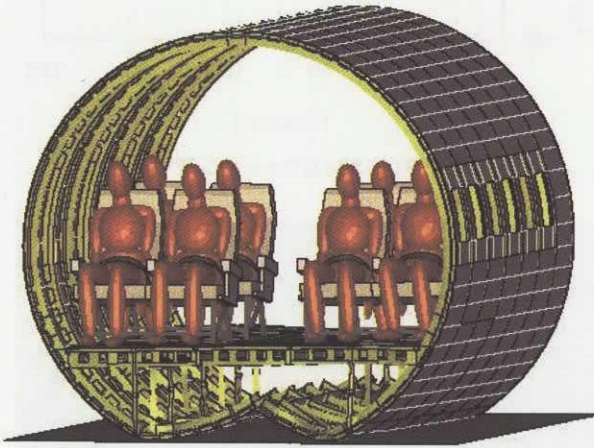
80 msec



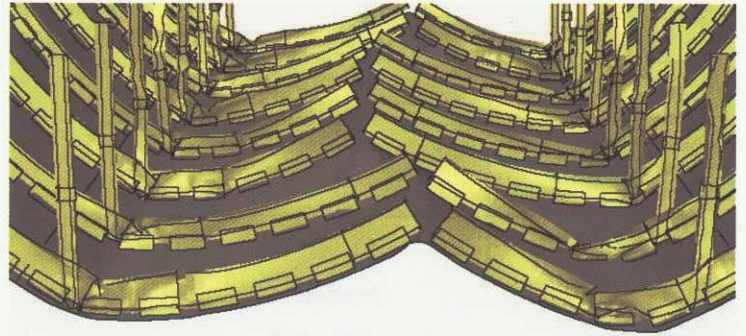
試験結果

解析結果

図50. 後方胴体の破壊様相に関する解析と試験との比較



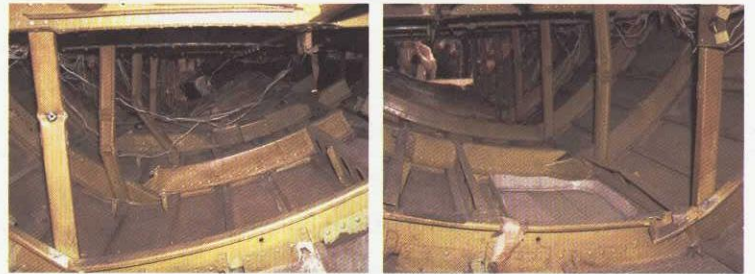
解析結果



解析結果



試験結果



試験結果

図52. 後方胴体の床下破壊様相に関する解析と試験との比較

図51. 後方胴体の最終破壊様相に関する解析と試験との比較

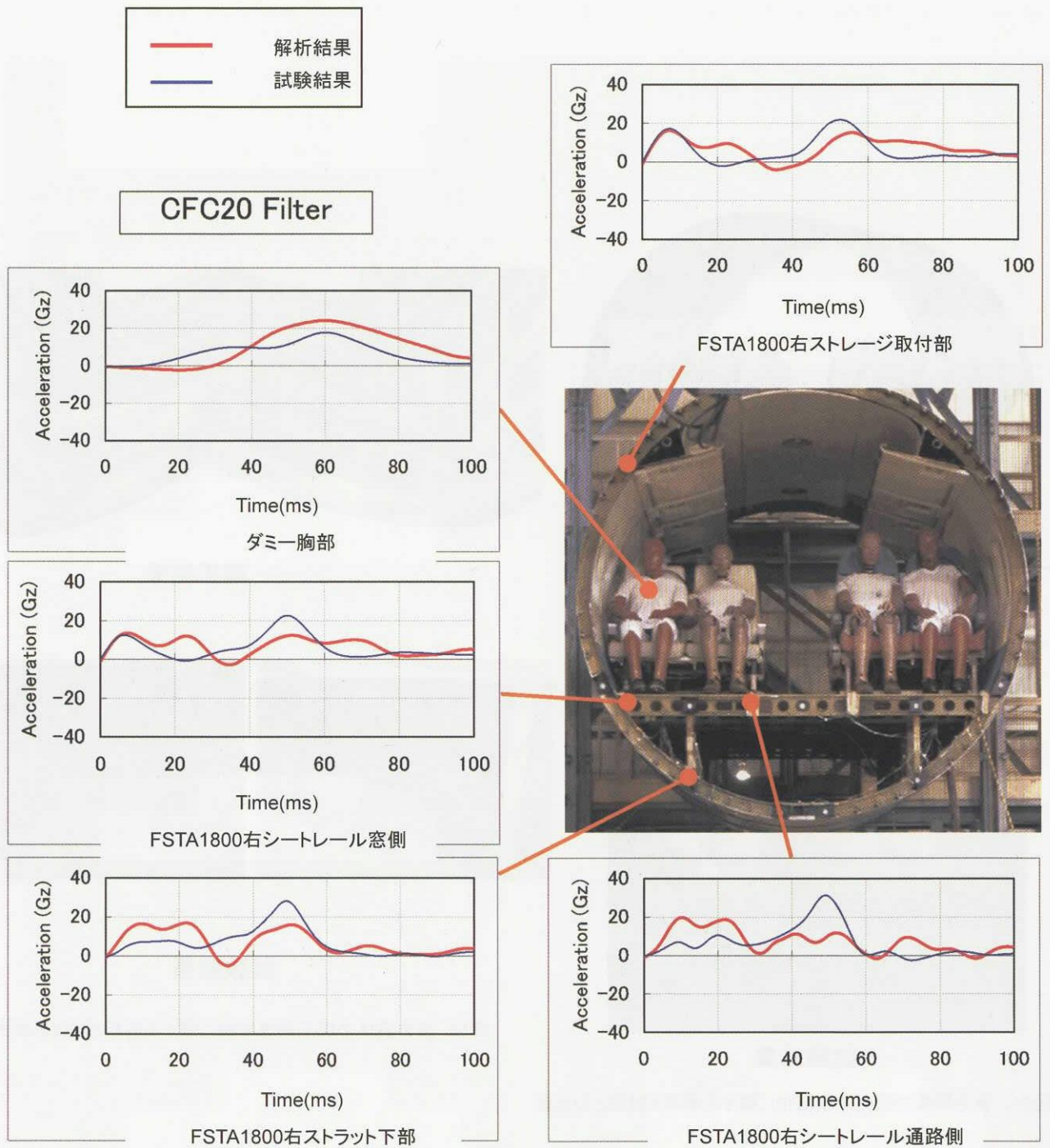


図53.後方胴体の代表的な加速度時刻歴に関する解析と試験との比較

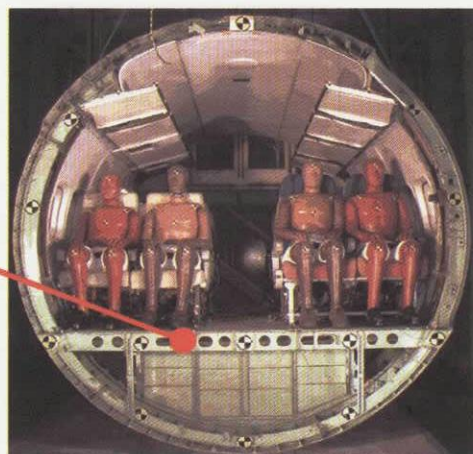
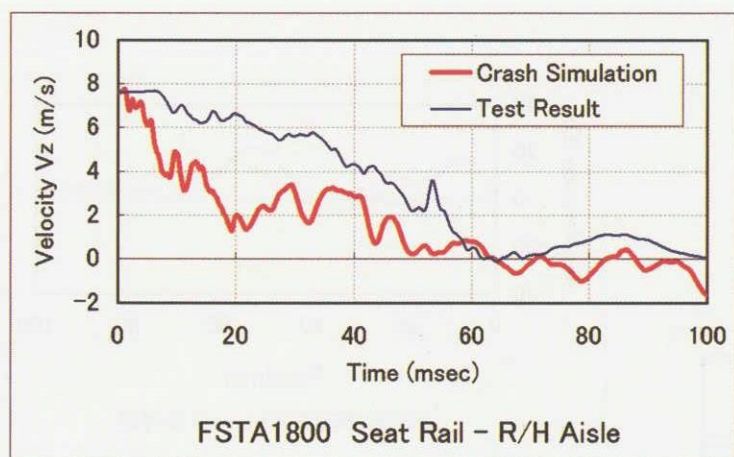


図54. 前方胴体代表的な床面速度時刻歴に関する解析と試験の比較

4.6 前方胴体

4.6.1 床面速度

図54にフィルタ未処理の加速度データを積分して得られた代表的な床面速度時刻歴に関する解析と試験との比較を示す。解析、試験共に積分に当たっては10,000サンプル/秒以上のフィルタ未処理加速度データを用いている。図中の試験結果については、初速度7.6m/sが約60msec後に速度零となる平均傾斜から、床面基本平均加速度は約13G付近、また局所的傾斜が平均傾斜の約2倍程度であることから床面基本ピーク加速度は約25G程度であることがわかる。図からわかるように、解析と試験と間の床面速度上の差異は、前述の後方胴体よりも広がる傾向を示している。

4.6.2 破壊様相

図55に全般的破壊様相に関する解析と試験との比較を示す。前述の後方胴体とほぼ同様に胴体下部フレームでの最初の衝撃から約40msec後付近でストラットが接地し、その間貨物室壁部潰れと胴体下面フレーム曲げが連続して生じている。解析は試験での全般的な破壊過程を良好にシミュレートしている。図56に最終的破壊様相に関する解析と試験との比較を示す。解析は試験での床下部分の破壊状況を良好にシミュレートしている。図57床下破壊様相に関する解析と試験との比較を示す。図から解るように、図52の後方胴体と同様に、集中質量要素、ビーム要素及びバネ要素でモデル化するKRASH等のハイブリッド法では表現出来なかった複雑な胴体下面フレーム破壊モードを良好に表現しているのがわかる。

4.6.3 加速度

加速度の検討に当たっては、前述の後方胴体と同様に、下方衝撃下の着座人体において重要な評価指標となる上半身上下応答のピークが約9 Hz前後にあり¹³⁾、応答周

波数帯としてはその2倍程度をほぼ上限と見なすことが出来るため、本周波数帯から大きく外れる加速度パルスを検討から除外し衝撃現象の理解を助けるため、30Hzローパス・フィルタにほぼ相当するSAE J211/1 のCFC20を適用した。図58に代表的な胴体加速度時刻歴に関する解析と試験との比較を示す。ダミー胸部、FSTA-8080右シートレール窓側及びFSTA-8080右ストレージ取付部での加速度時刻歴の解析と試験の比較では最初のピーク波形で発生時刻の一致が見られる。

図から解るように、試験での床面シートレール通路側のピーク加速度は約25G程度であり、前述の図54で確認された床面基本ピーク加速度を良好に表現していることから、CFC20適用が妥当であったことがわかる。

解析と試験との加速度ピークには概ね30%前後の差異が見られ、その差はストラット下部等では特に顕著となっている。この解析と試験との差異は、後方胴体よりも広がる傾向を示している。しかしながら下方衝撃下の着座人体において重要な評価指標の胸部加速度については解析と試験とは波形及びピーク値ともほぼ一致している。

前方胴体では後方胴体と比較して運動エネルギー比で1.7倍であったにも関わらず、床面ピーク加速度上では運動エネルギー比に見合う加速度レベルの差が見られなかった点については、図52、図57の床下破壊様相からも解るように、後方胴体では胴体フレーム下部破壊～ストラット接地間においてエネルギー吸収を果たす破壊が生じなかった一方で、前方胴体では貨物室壁部潰れや胴体下面フレームの継続的破壊により効果的にエネルギー吸収されたためと考えられる。

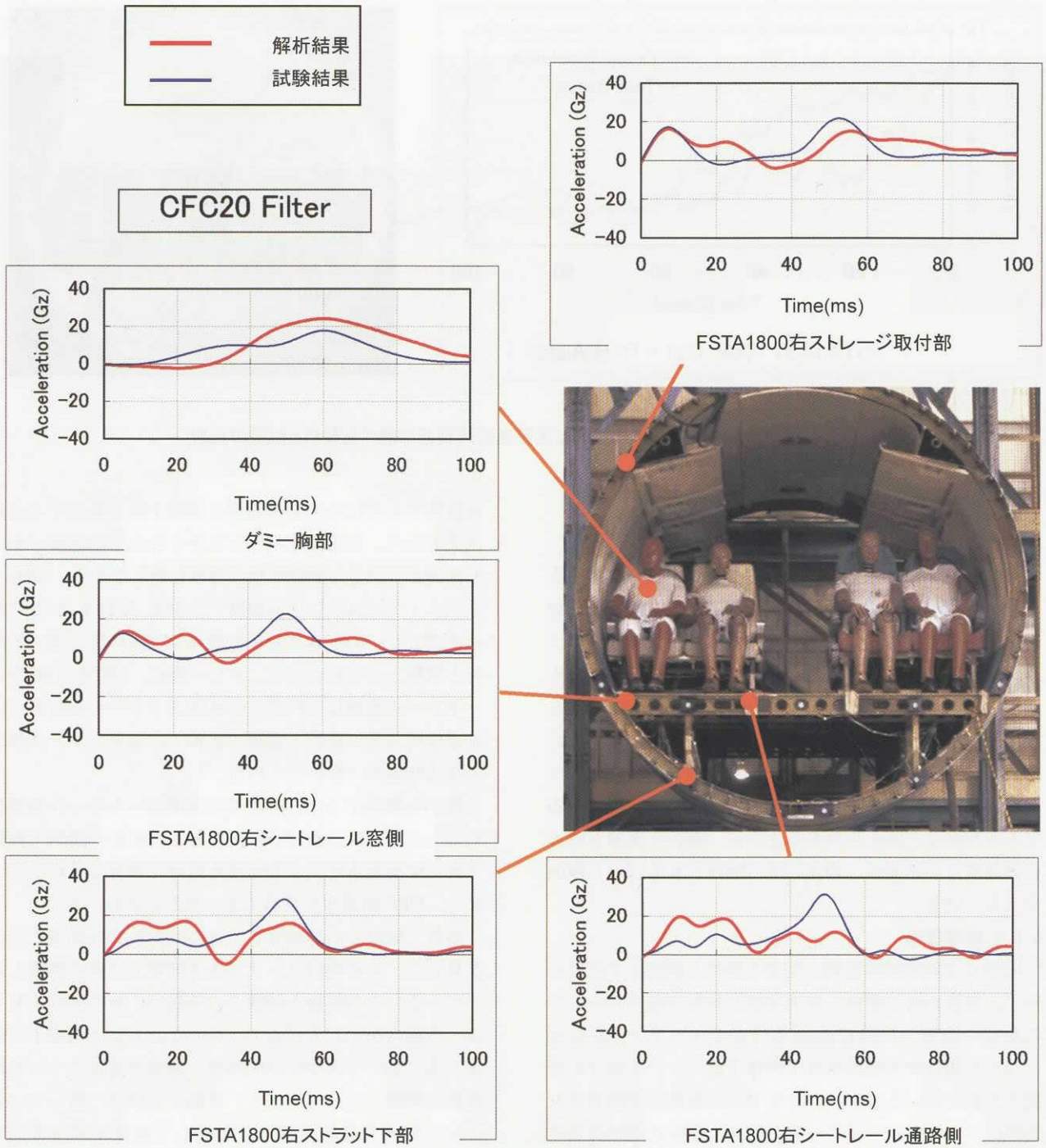
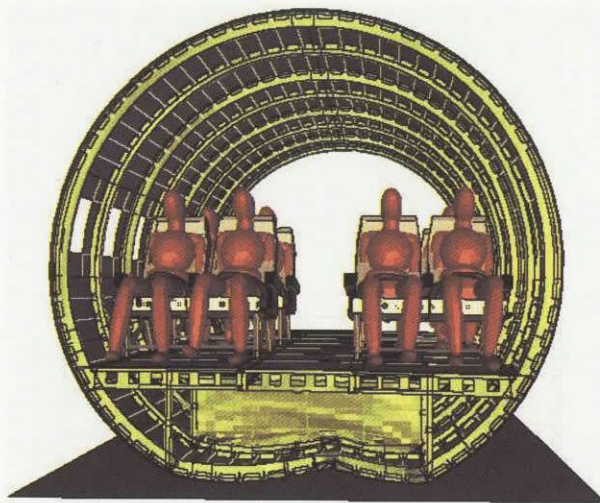
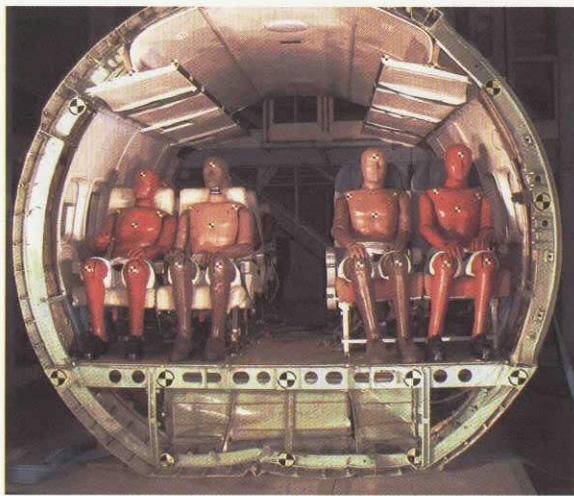


図53.後方胴体の代表的な加速度時刻歴に関する解析と試験との比較



解析結果



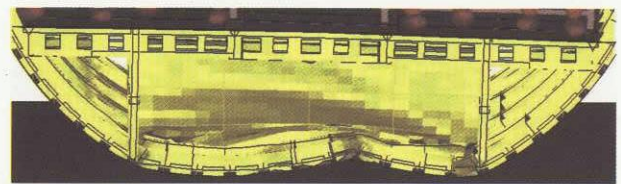
試験結果

図56. 前方胴体の最終破壊様相に関する解析と試験との比較

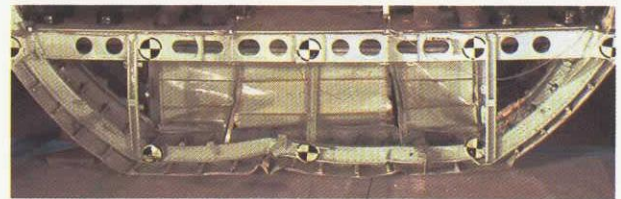
5. 結論

今回、前方胴体部分について前回の約1.5倍の落下高さから試験を実施しデータを取得することができた。試験法については前回と同様に、米国のNASAやFAA(連邦航空局)が以前から多くの実物機体の衝撃試験を実施している方法を参考にして、衝撃解析の開発にも有効なデータを提供することを目的に、試験条件、試験方法を設定した。結果としては4項までに述べたように有効なデータを取得することができた。2回の落下衝撃試験により以下に示す結論を得た。

(1)前方胴体の運動エネルギーは後方胴体の約1.7倍であったがシートレール部の最大上下方向加速度では運動エネルギー比に見合う加速度レベル差は見られなかった。これは後方胴体では胴体フレーム床下部破壊～ストラット接地間においてエネルギー吸収を果たす破壊が生じなかつ



解析結果



試験結果

図57. 前方胴体の床下破壊様相に関する解析と試験との比較

たが、前方胴体では貨物室壁部潰れや胴体床下面フレームの継続的破壊により効果的にエネルギー吸収が生じたためと考えられる

(2)前方胴体の人体ダミー(ATD#01)の最大上下方向加速度はCFC60で18.7Gであり、腰椎の圧縮荷重は5.7kN以下であった。この値は後方胴体とほぼ同様の値であった。また、この値はFAR Part25の現行基準(前方16G)シートで規定する骨盤部での荷重限度6.7kN(1500Lbsf)より下回っており、前方胴体の試験条件においても、搭乗者に致命的な損傷は与えなかったと判断できる。また、客室内装部品についても、脱落の発生がなく搭乗者の非常脱出の妨げとはならなかった。

(3)後方胴体はシートレールでは、最大で40mm程度の曲げ変形が確認されたが、前方胴体は最大で13mmであった。また後方胴体フロアビームに多数亀裂が発生していたが前方胴体では亀裂の発生は認められなかった。これはフロアビームの下部に荷物室がある効果と考えられる。前方胴体でもシートの脱落はなかったが、16G対応型シート以外の全てのYS-11オリジナルシートの後方チューブ中央では最大5mm程度の残留変形が確認された。

(4)FFT解析から上部胴体フレーム構造の固有振動数及び人体ダミーを含むシートの固有振動数と考えられるピークが検出された。

(5)前方胴体及び後方胴体の胴体断面モデルについてLS-DYNA3Dを用いて有限要素法解析を行った。各時刻での加速度ピーク値についての試験との差異は概ね30%前後であったが、床下部分の破壊状況は良好にシミュレートしている。

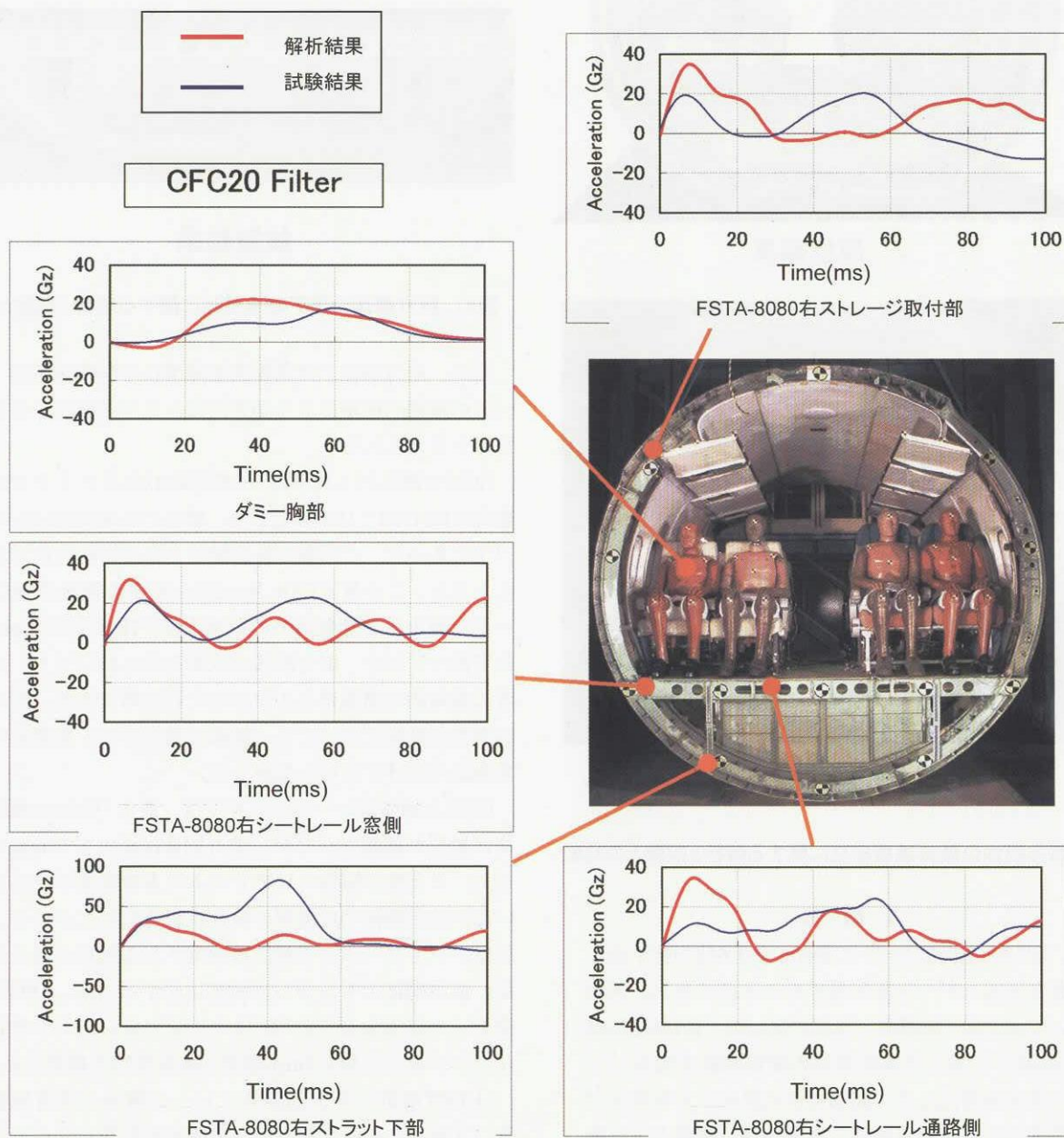


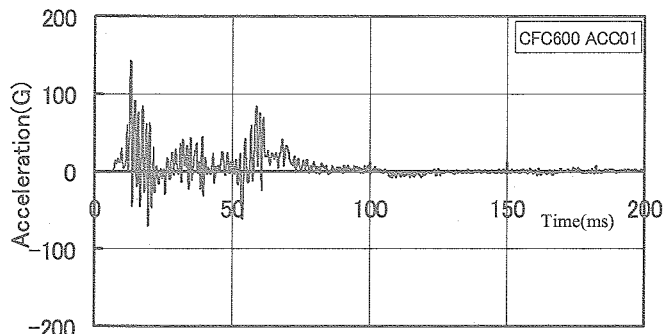
図58. 前方胴体の代表的な加速度時刻歴に関する解析と試験の比較

6. おわりに

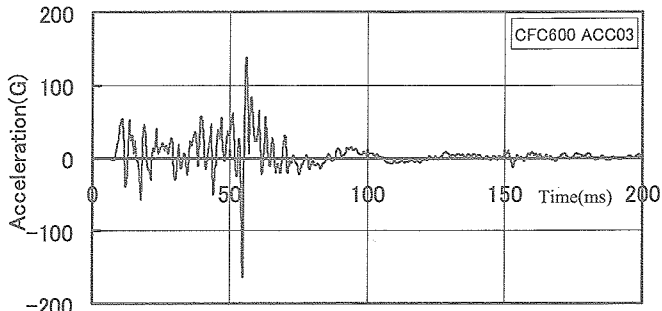
試験実施にあたりFAA Technical Centerからの研究協力、航空局技術部からの情報提供等の多大なる支援を得た。小糸工業(株)からは16G対応座席の提供、(財)日本自動車研究所からは人体ダミーの提供、三菱重工業(株)、天龍工業(株)、(株)共和電業、(株)日本ローパー、(株)ナックから様々な研究支援をして戴いた。特に、エアニッポン(株)からはYS-11A-200型機の胴体構造およびシートを提供して戴いた。また、当所構造材料研究センターおよび業務部の皆様に多大な協力を戴いた。ここに謝意を表します。

参考文献

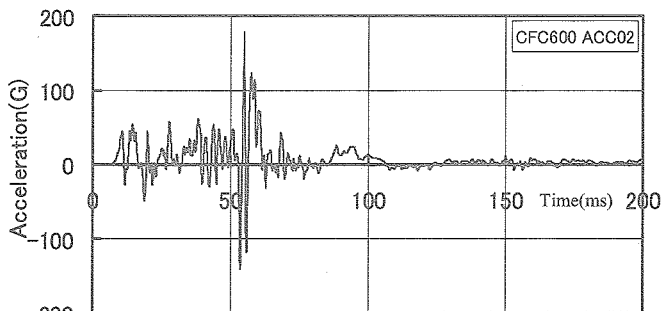
- 1).Soltis,S.,Caiafa,C. and Wittlin,G.:FAA Structural Crash Dynamics Program Update - Transport Category Aircraft, SAE Paper 851887(1985)
- 2).Abramowitz,A., Smith,T.G. and Vu,T.:Vertical Drop Test of a Narrow-Body Transport Fuselage Section with a Conformable Auxiliary Fuel Tank Onboard, DOT/FAA/AR-00/56 (2000)
- 3).McGuire,R. and Vu,T.:Vertical Drop Test of a Beechcraft 1900C Airliner, DOT/FAA/AR-96/119 (1999)
- 4).Abramowitz,A., Ingraham, P.A. and McGuire,R.: Vertical Drop Test of a Shorts 3-30 Airplane, DOT/FAA/AR-99/87 (1999)
- 5).McGuire,R., Nissley,W.J.and Newcomb,J.E.:Vertical Drop Test of a Metro III Aircraft, DOT/FAA/CT-93/1(1993)
- 6).Abramowitz,A.,Smith.T.G,Vu Tong.:Vertical Drop Test of a Narrow-Body Transport Fuselage Section with a Conformable Auxiliary Fuel Tank Onboard.,Dot/FAA/AR-00/56(Sep.2000)
- 7).Kumakura.I,Terada.H:Reseach Plan at NAL on Drop Test of Fuselage Structure of YS-11 Turbo-prop Transport Aircraft, International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference.(2001)
- 8).峯岸正勝、熊倉郁夫、岩崎和夫ほか：YS-11型機胴体構造の落下衝撃試験(その1)、日本航空学会論文集 Vol.51,No594(2003年7月)
- 9).峯岸正勝、岩崎和夫、熊倉郁夫ほか：YS-11型機胴体構造の落下衝撃試験(その1)、航空宇宙技術研究所報告 TR-1461(2003)
- 10).SAE, Surface Vehicle Recommended Practice, SAE-J211/1 (Revised March 1995)
- 11).山住富也他：理系のためのVisual Basic 6.0実践入門 (2000)
- 12).LS-DYNA3D Version 950 Keyword User's Manual, 1999
- 13).USAAVSCOM TR 89-D-22B Aircraft Crash Survival Design Guide Vol.2: 1989



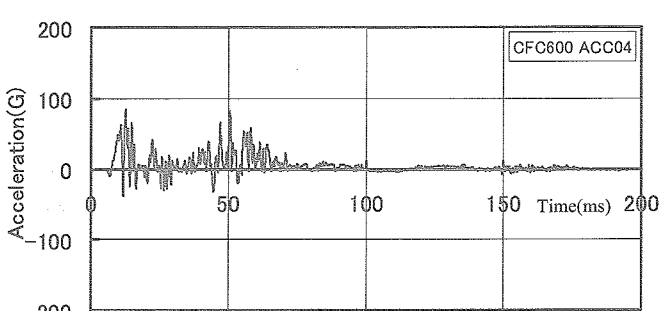
FSTA.-8080左シートレール窓側(Z方向)



FSTA.-8080右シートレール通路側(Z方向)



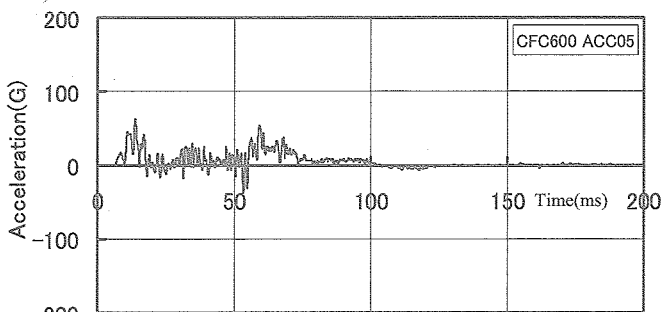
FSTA.-8080左シートレール通路側(Z方向)



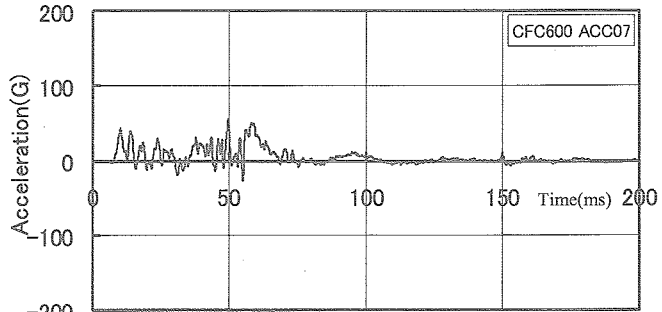
FSTA.-8080右シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 - 1/50

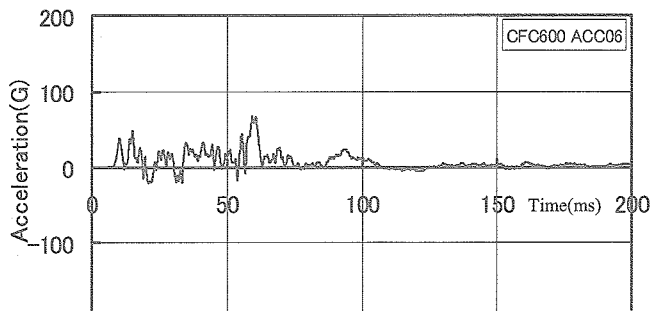
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 - 2/50



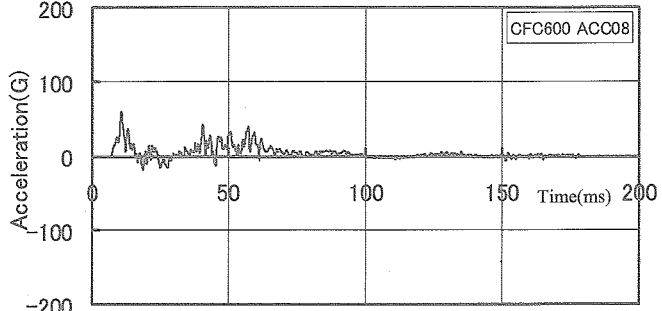
FSTA.-7758左シートレール窓側(Z方向)



FSTA.-7758右シートレール通路側(Z方向)



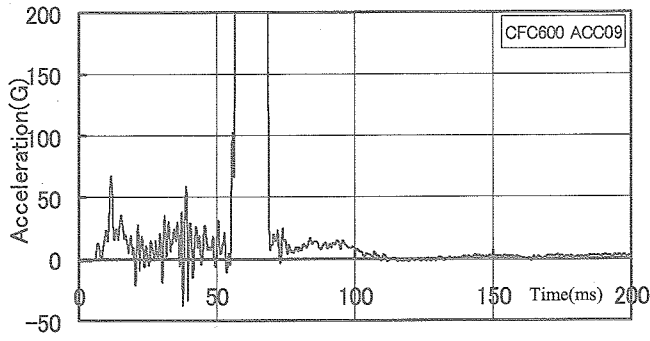
FSTA.-7758左シートレール通路側(Z方向)



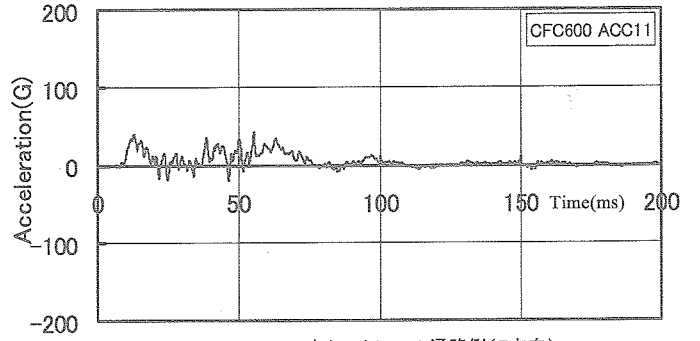
FSTA.-7758右シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 - 3/50

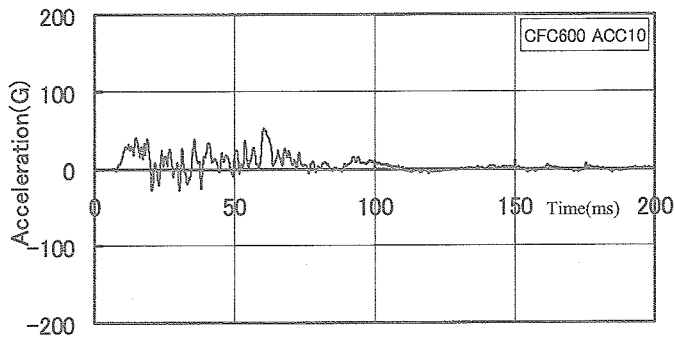
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 - 4/50



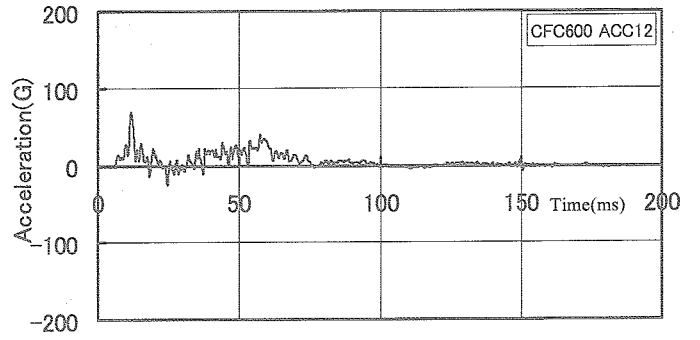
FSTA.-7278左シートレール窓側(Z方向)



FSTA.-7278右シートレール通路側(Z方向)



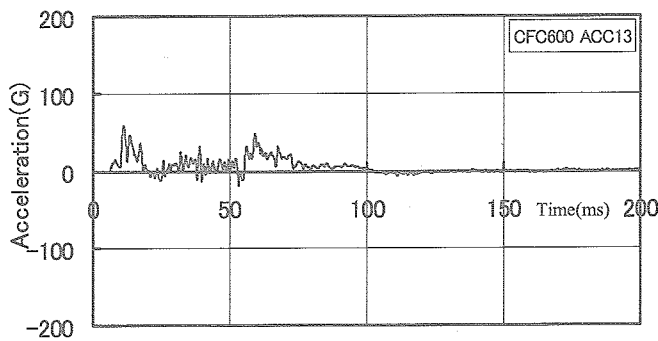
FSTA.-7278左シートレール通路側(Z方向)



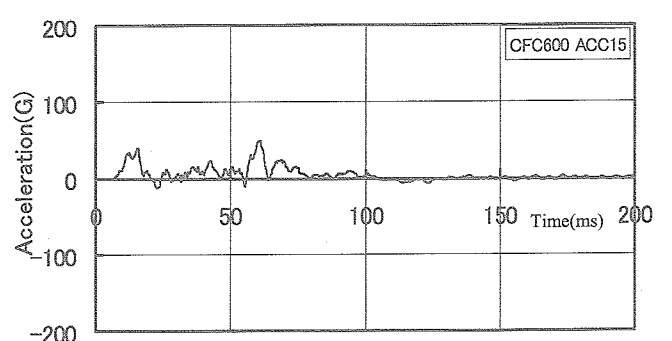
FSTA.-7278右シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -5/50

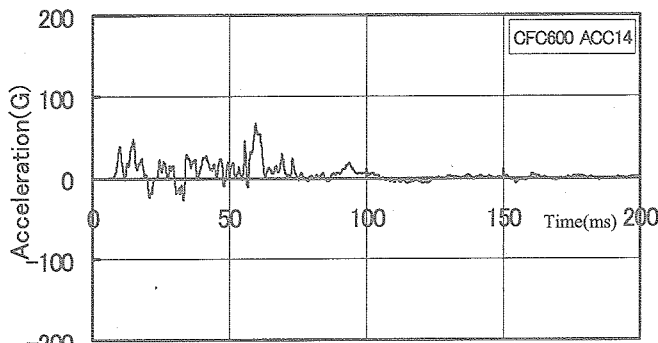
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -6/50



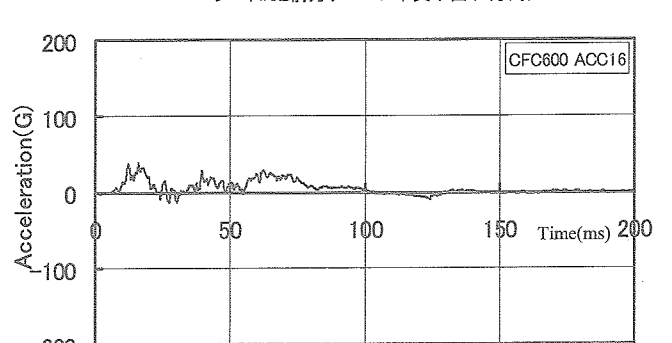
シート#1L左前脚上部下面(Z方向)



シート#1L前方チューブ中央下面(Z方向)



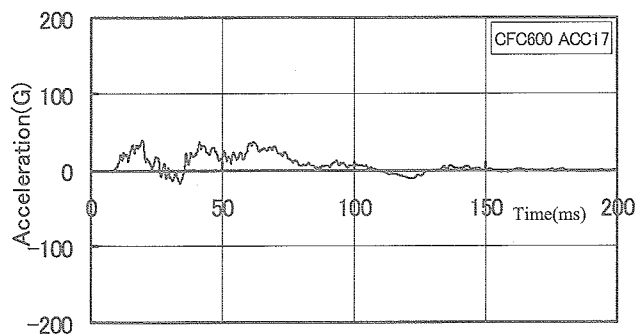
シート#1L右前脚上部下面(Z方向)



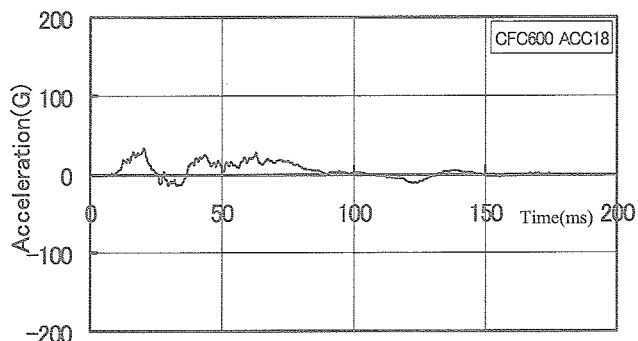
シート#1L左後脚上部下面(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -7/50

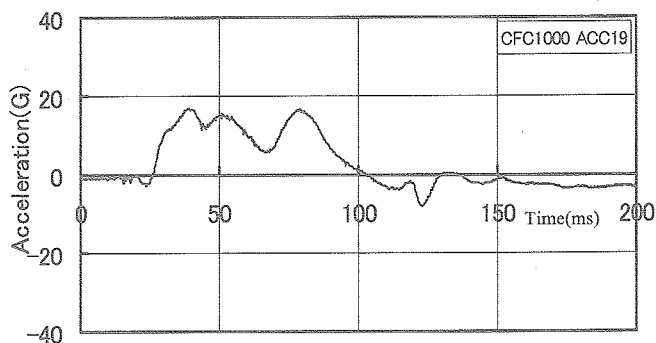
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -8/50



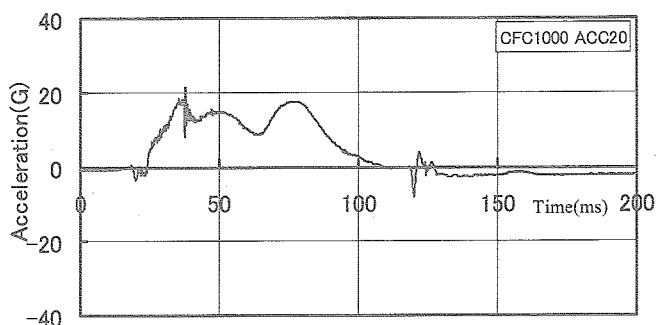
シート#1L右後脚上部下面(Z方向)



シート#1L後方チューブ中央下面(Z方向)



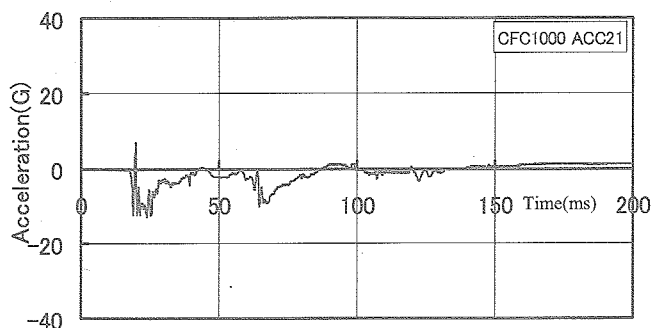
人体ダミーATD-01頭部(Z方向)



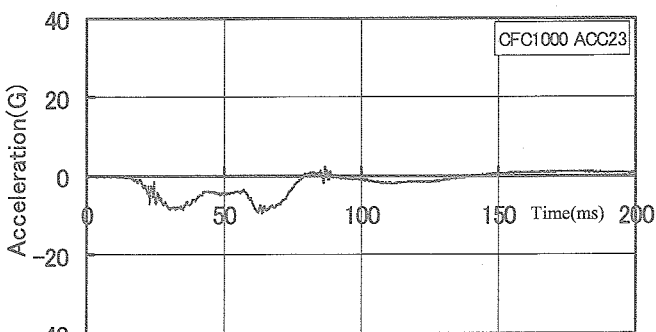
人体ダミーATD-01胸部(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -9/50

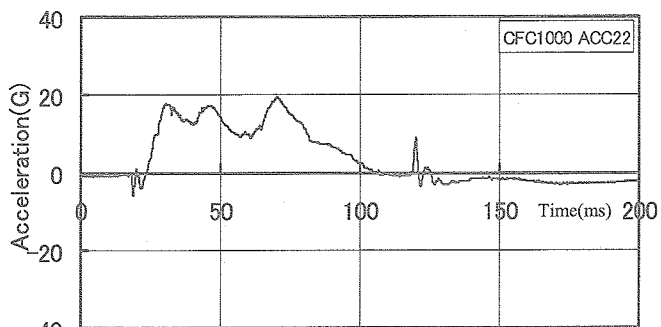
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -10/50



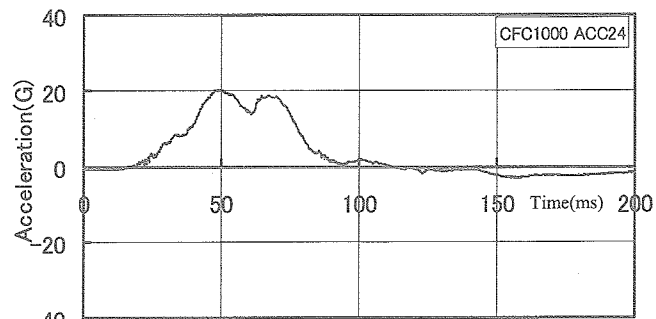
人体ダミーATD-01腰部(X方向)



人体ダミーATD-02腰部(X方向)



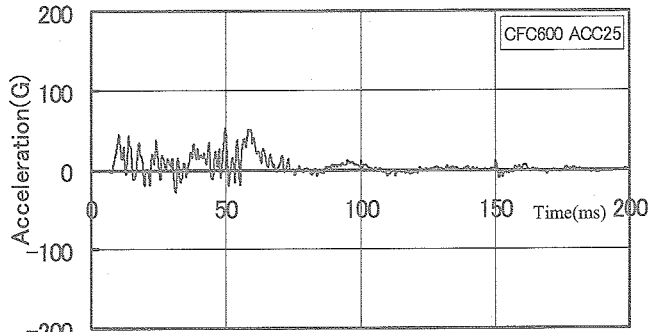
人体ダミーATD-01腰部(Z方向)



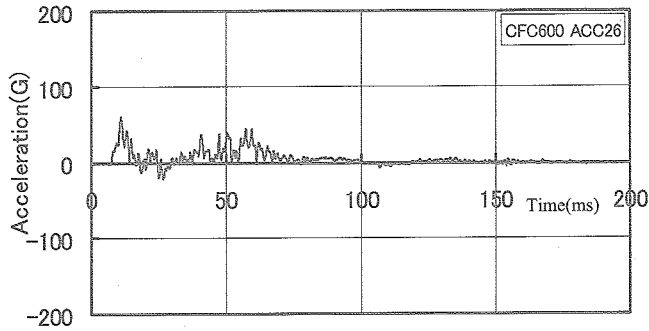
人体ダミーATD-02腰部(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -11/50

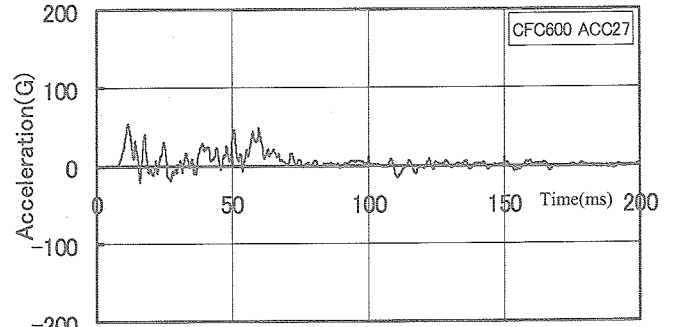
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -12/50



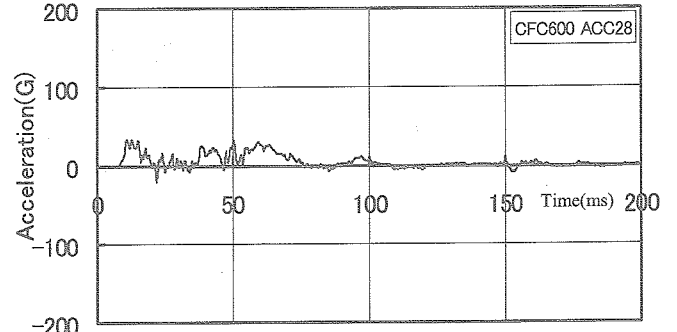
シート#1R左前脚上部下面(Z方向)



シート#1R右前脚上部下面(Z方向)



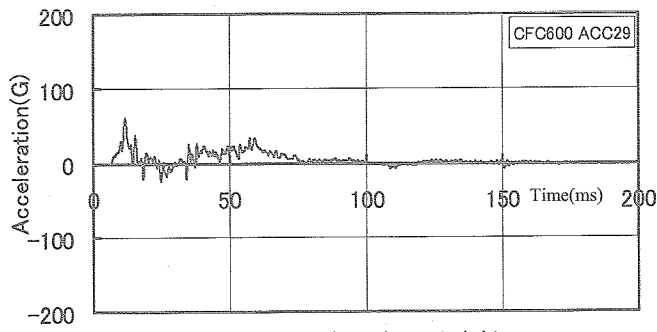
シート#1R前方チューブ中央下面(Z方向)



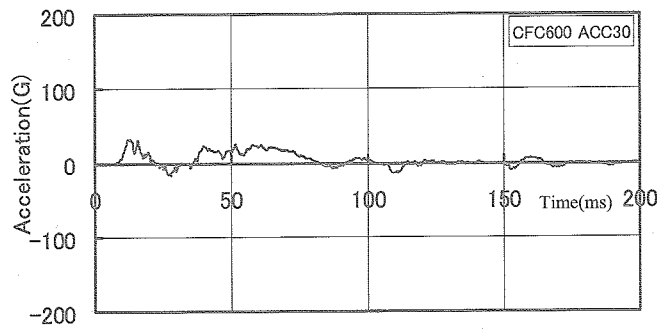
シート#1R左後脚上部下面(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -13/50

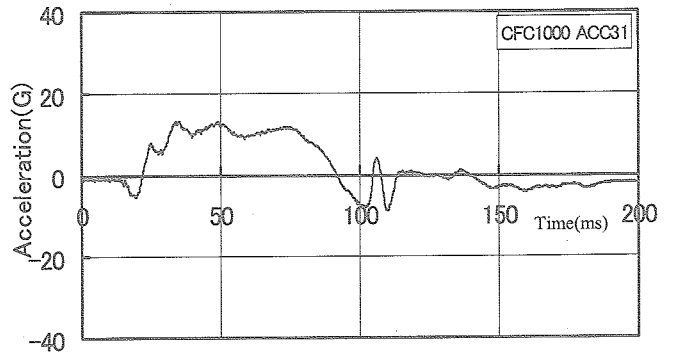
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -14/50



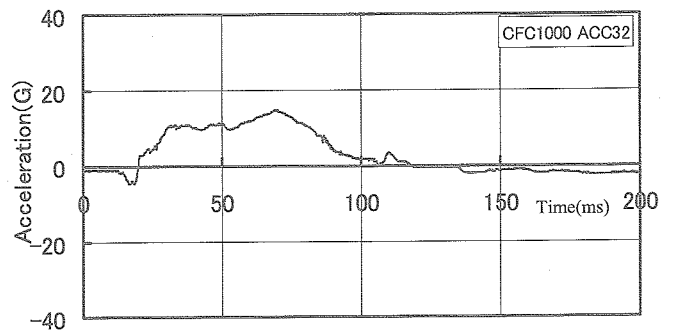
シート#1R右後脚上部下面(Z方向)



シート#1R後方チューブ中央下面(Z方向)



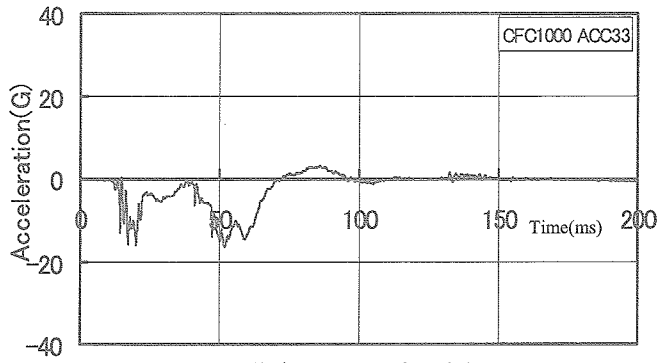
人体ダミー-ATD-04頭部(Z方向)



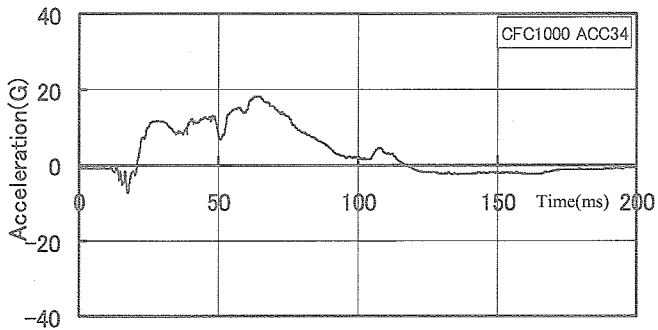
人体ダミー-ATD-04胸部(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -15/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -16/50

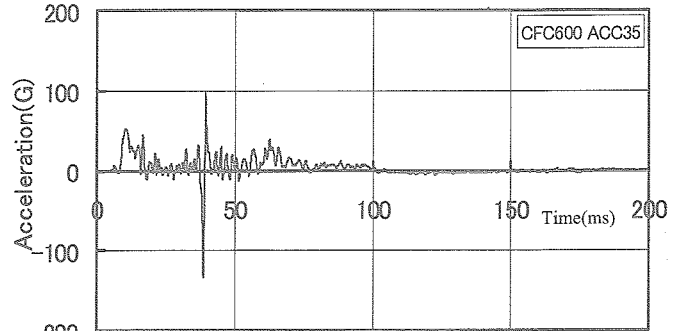


人体ダミー-ATD-04腰部(X方向)

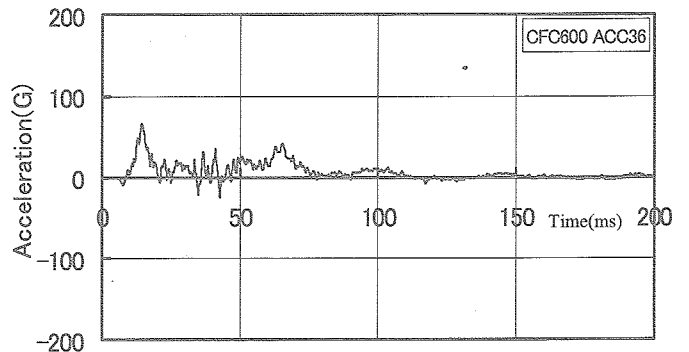


人体ダミー-ATD-04腰部(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -17/50

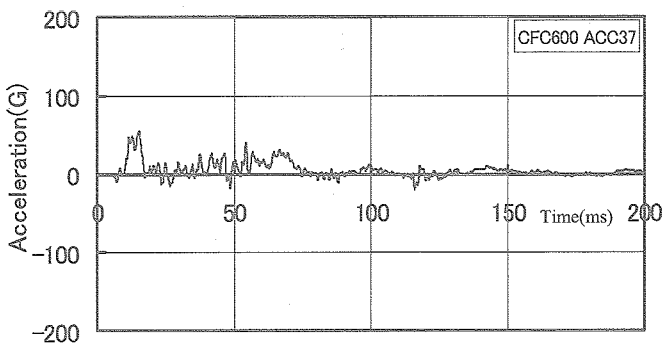


FSTA.-6390左シートレール窓側(Z方向)

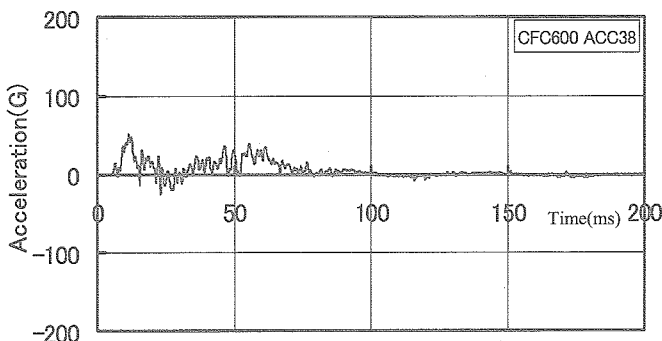


FSTA.-6390左シートレール通路側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -18/50

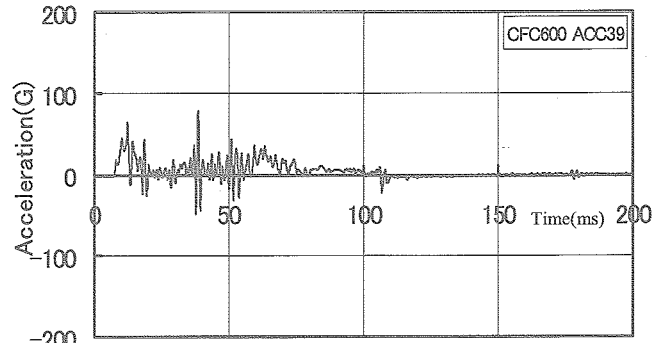


FSTA.-6390右シートレール通路側(Z方向)

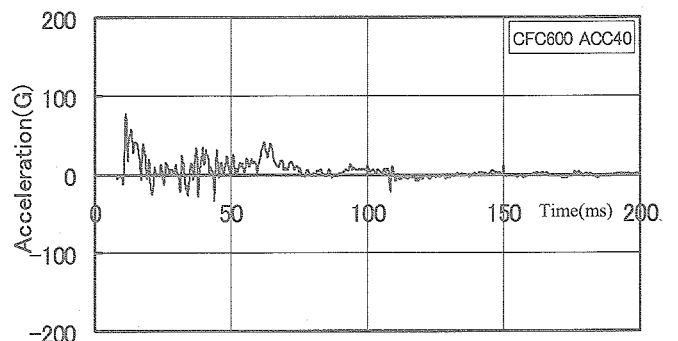


FSTA.-6390右シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -19/50

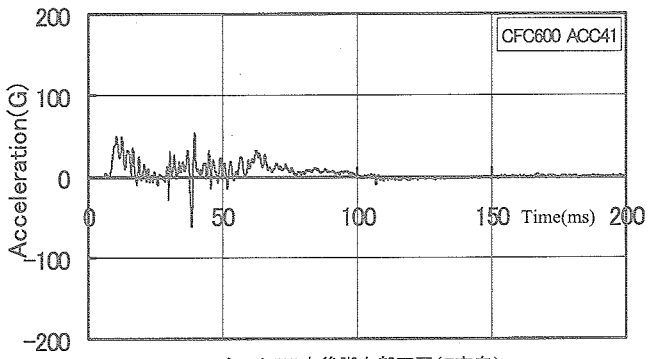


シート#2L左前脚上部下面(Z方向)

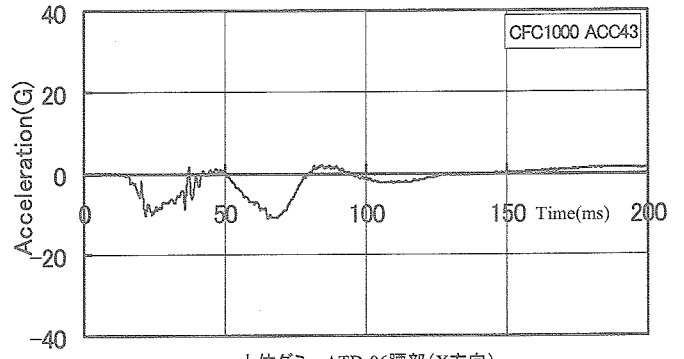


シート#2L右前脚上部下面(Z方向)

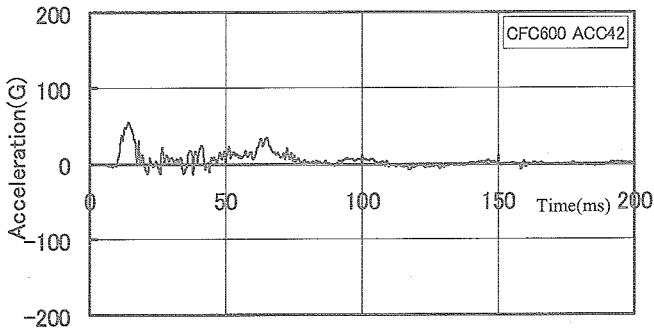
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -20/50



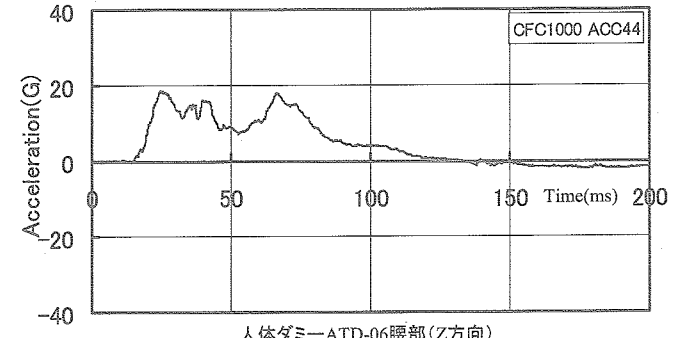
シート#2L左後脚上部下面(Z方向)



人体ダミーATD-06腰部(X方向)



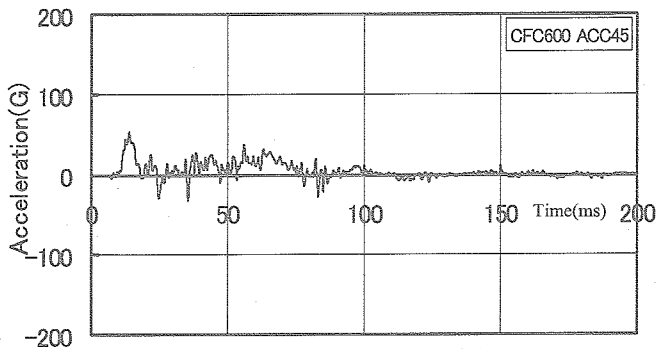
シート#2L右後脚上部下面(Z方向)



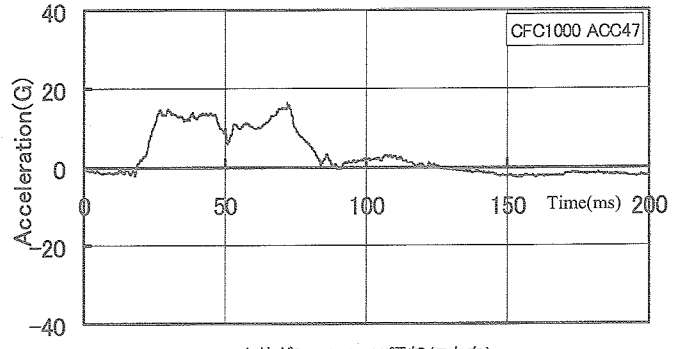
人体ダミーATD-06腰部(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -21/50

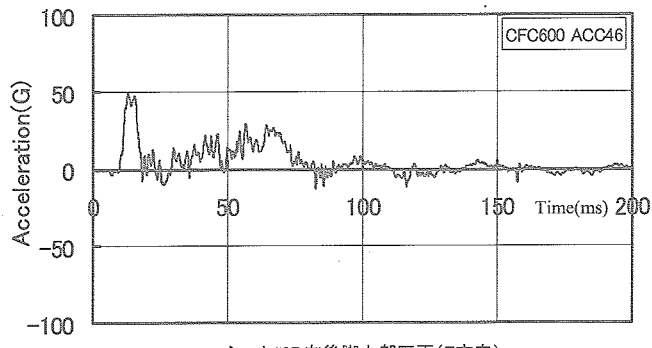
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -22/50



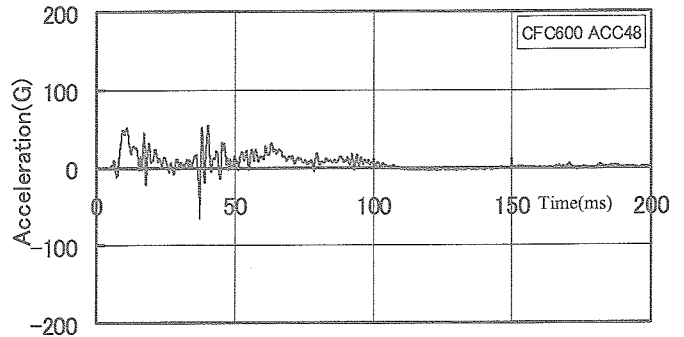
シート#2R左前脚上部下面(Z方向)



人体ダミーATD-07腰部(Z方向)



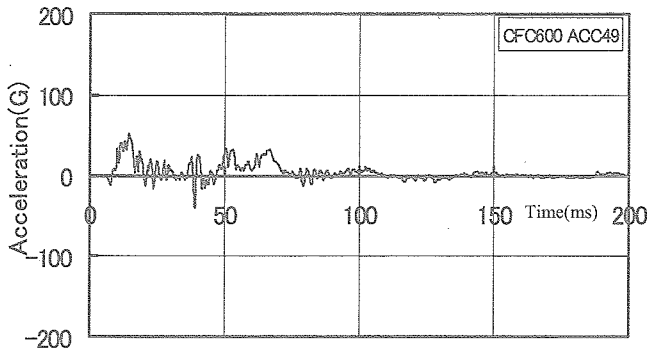
シート#2R左後脚上部下面(Z方向)



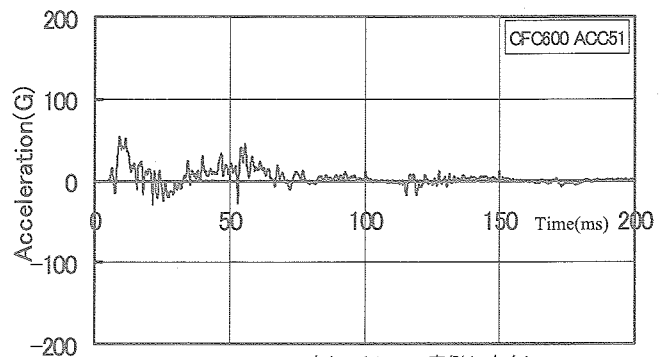
FSTA.-5910左シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -23/50

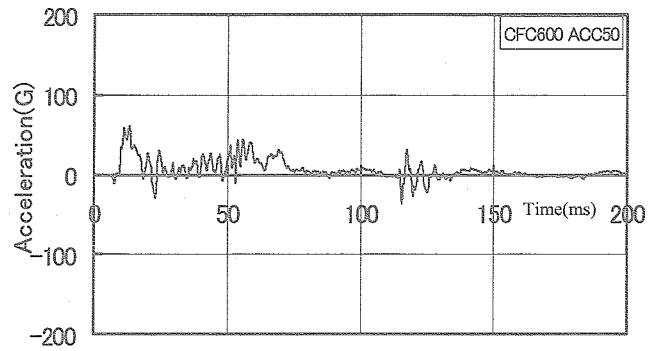
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -24/50



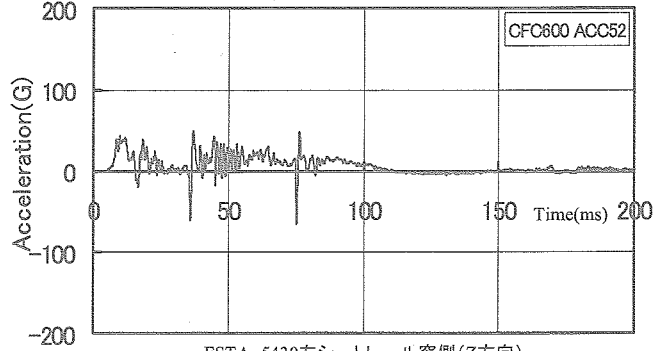
FSTA.-5910左シートレール通路側(Z方向)



FSTA.-5910右シートレール窓側(Z方向)



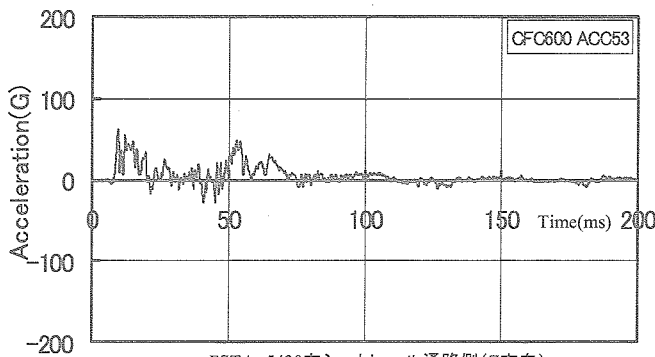
FSTA.-5910右シートレール通路側(Z方向)



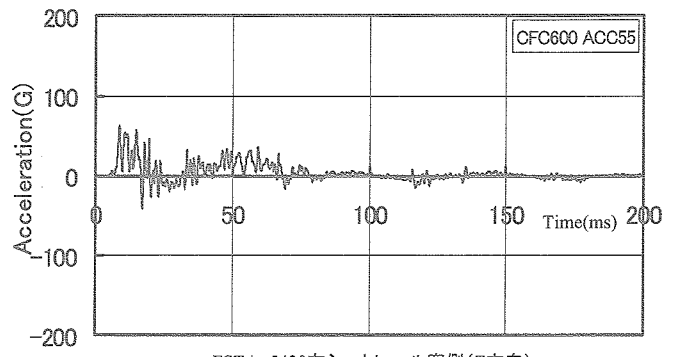
FSTA.-5430左シートレール窓側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -25/50

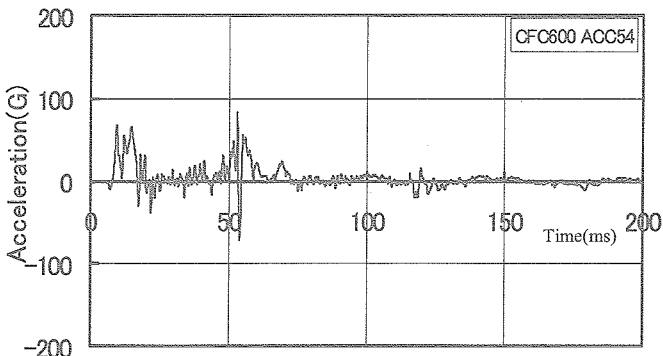
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -26/50



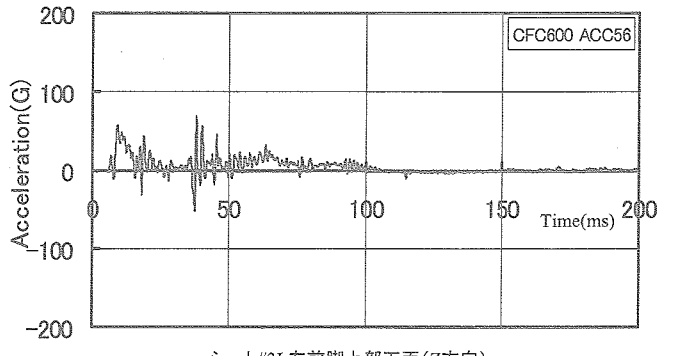
FSTA.-5430左シートレール通路側(Z方向)



FSTA.-5430右シートレール窓側(Z方向)



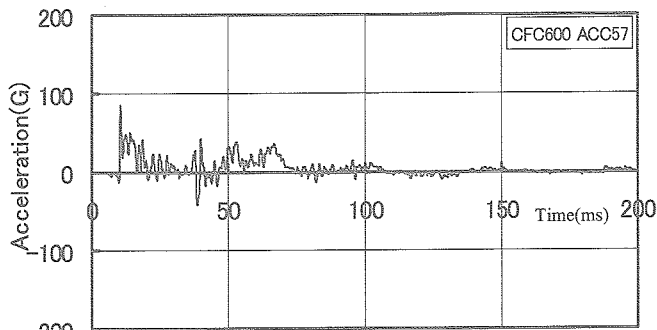
FSTA.-5430右シートレール通路側(Z方向)



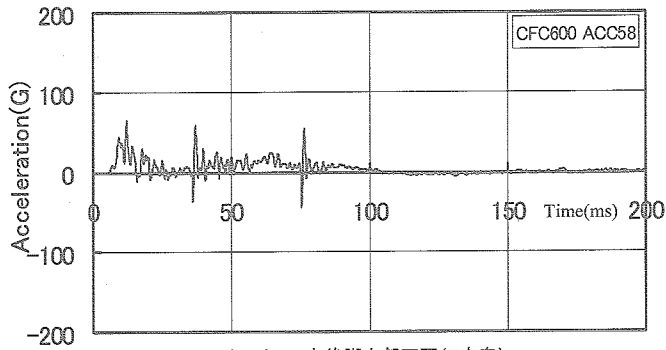
シート#3L左前脚上部下面(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -27/50

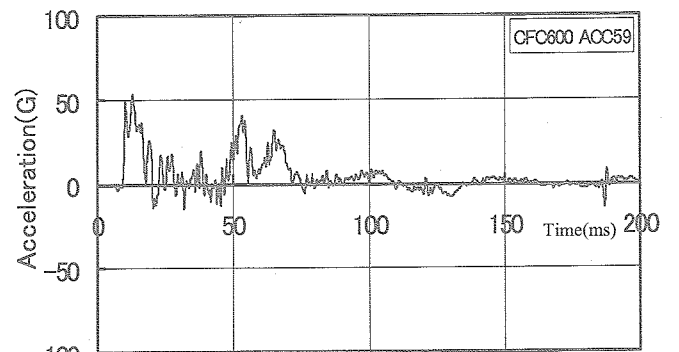
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -28/50



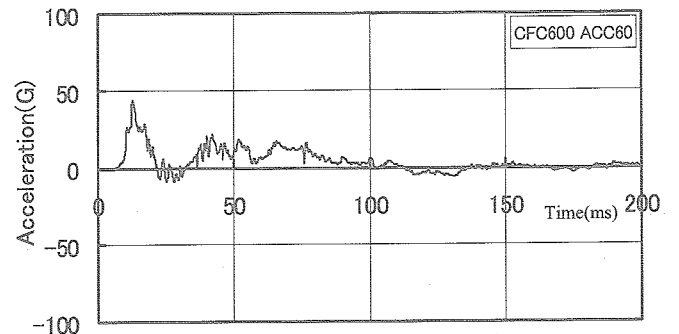
シート#3L右前脚上部下面(Z方向)



シート#3L左後脚上部下面(Z方向)



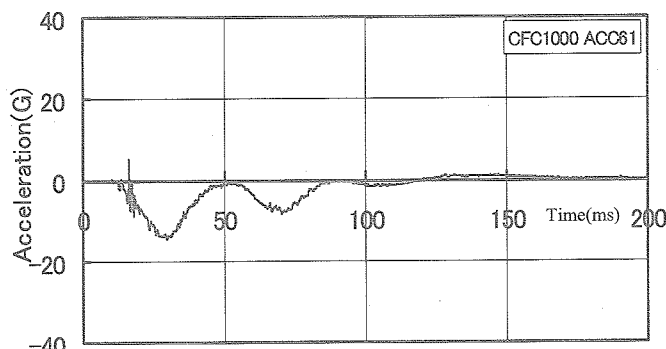
シート#3L右後脚上部下面(Z方向)



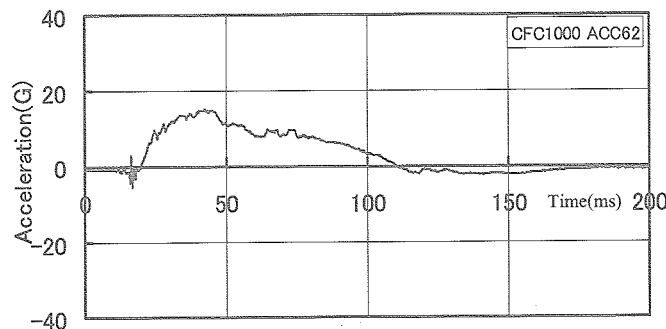
シート#3L後方チューブ中央下面(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -29/50

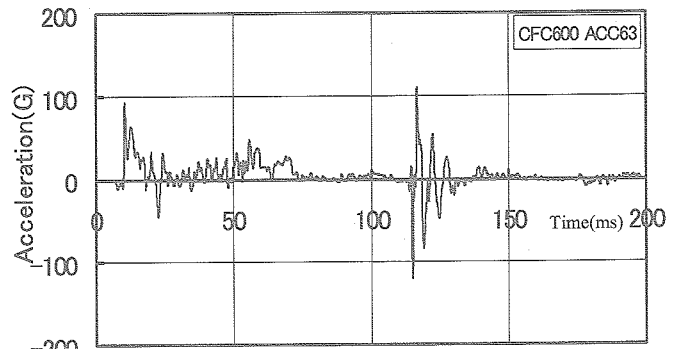
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -30/50



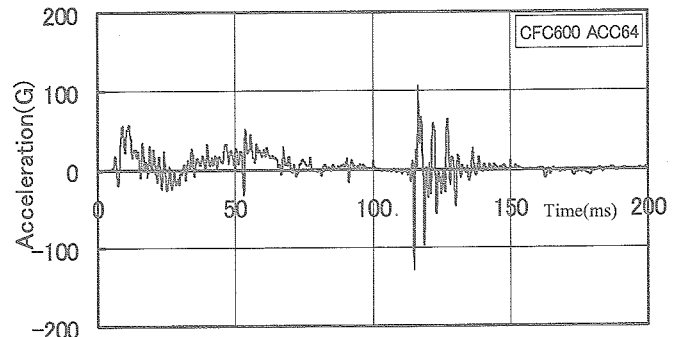
人体ダミーATD-09腰部(X方向)



人体ダミーATD-09腰部(Z方向)



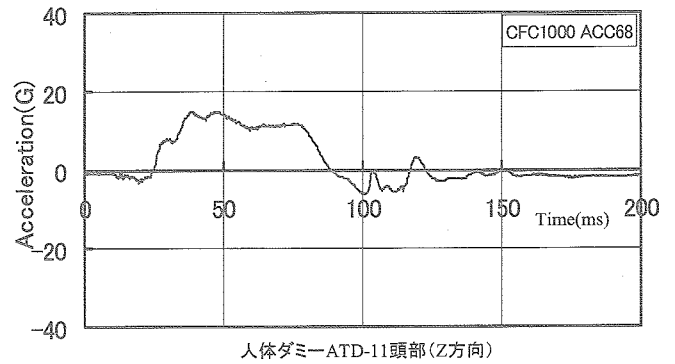
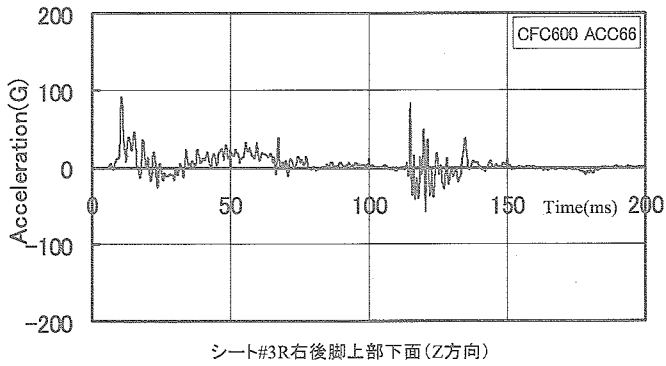
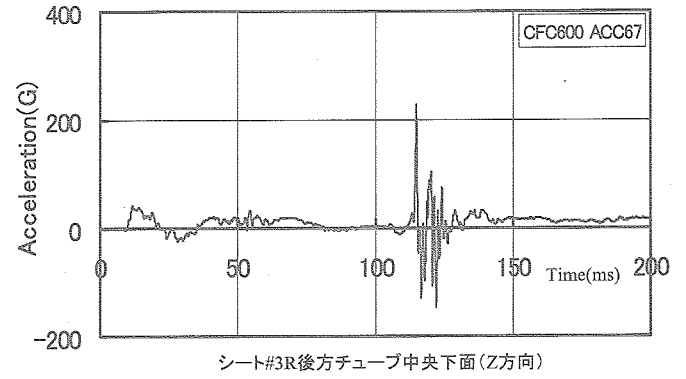
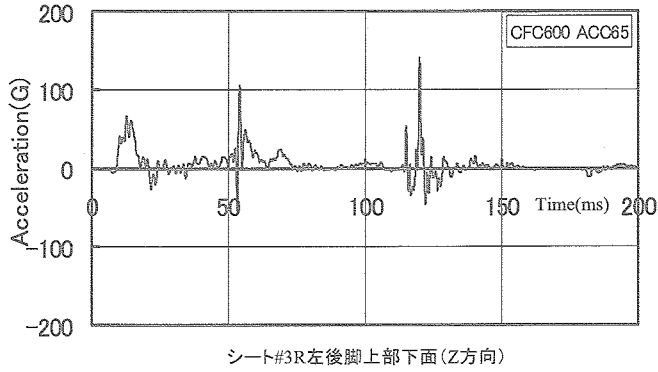
シート#3R左前脚上部下面(Z方向)



シート#3R右前脚上部下面(Z方向)

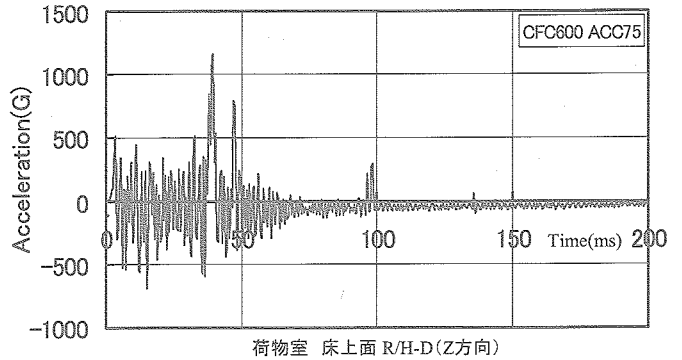
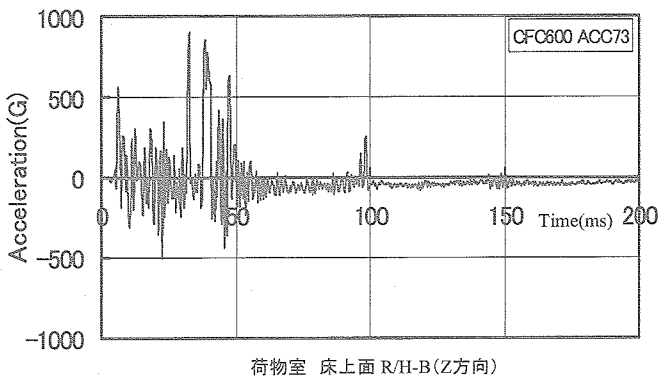
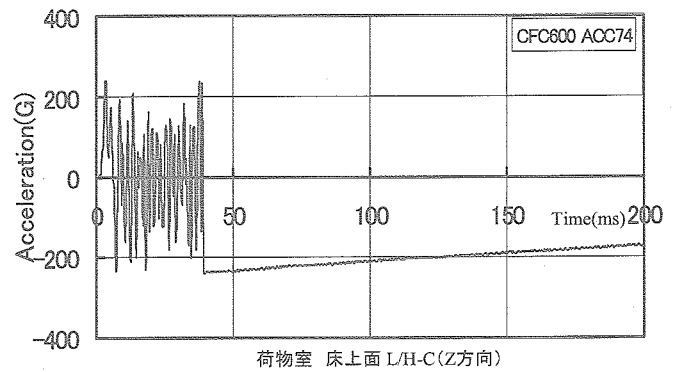
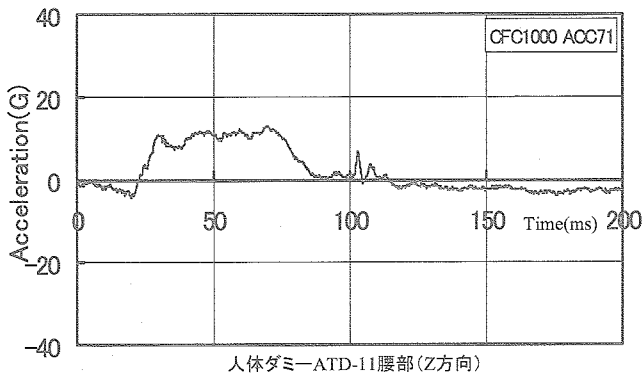
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -31/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -32/50



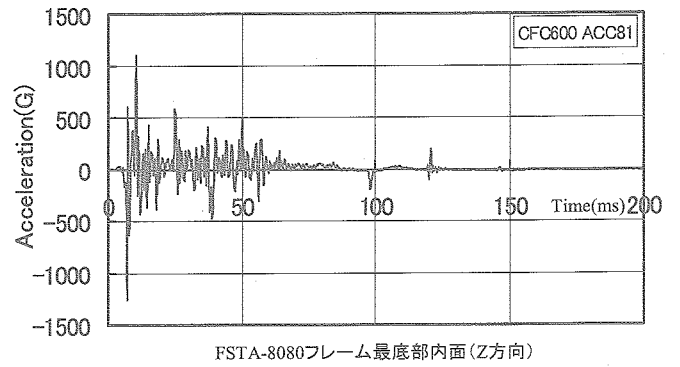
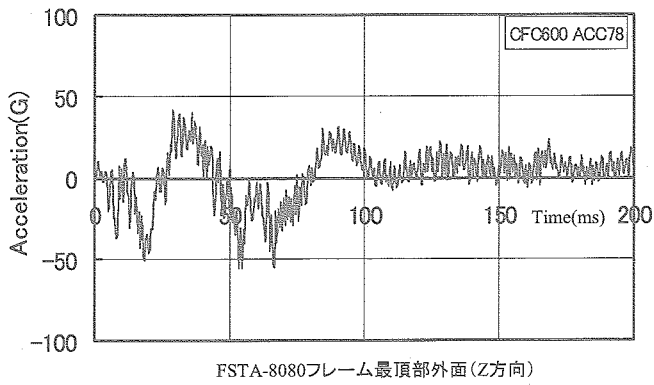
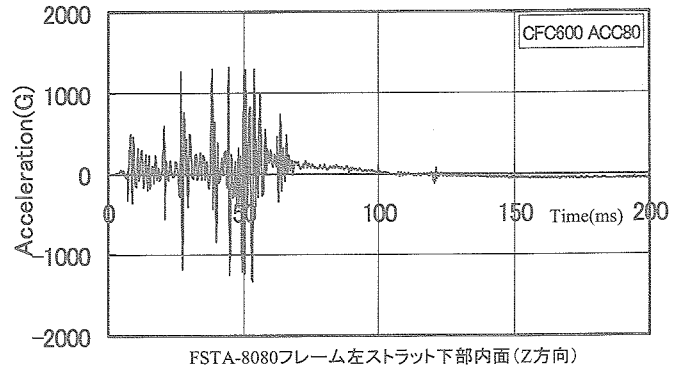
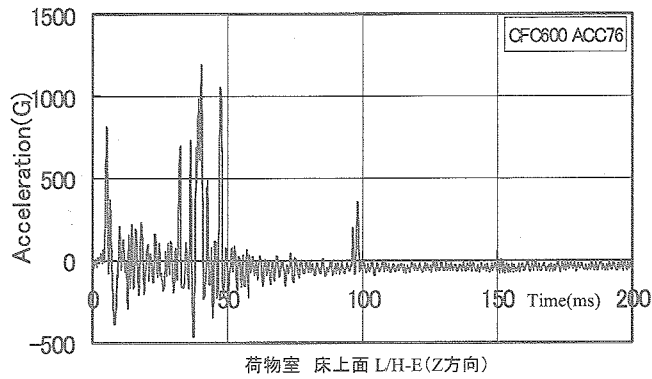
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -33/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -34/50



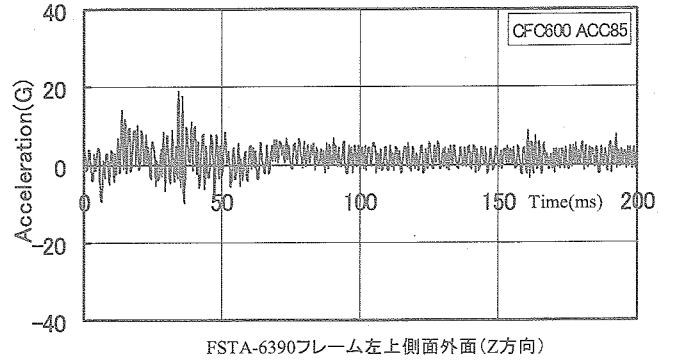
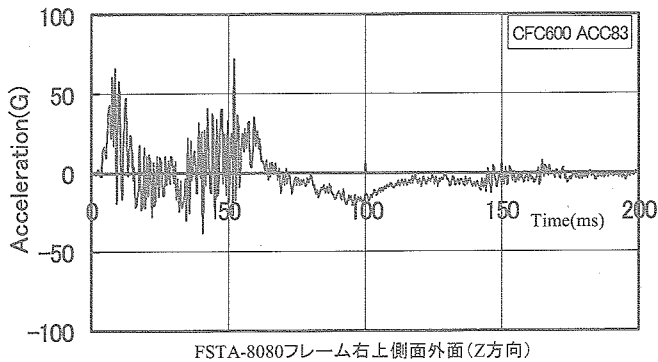
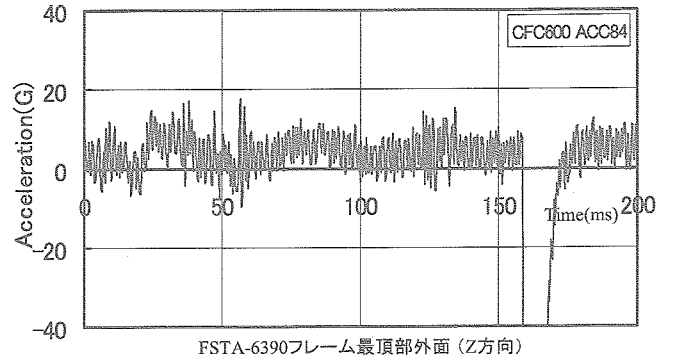
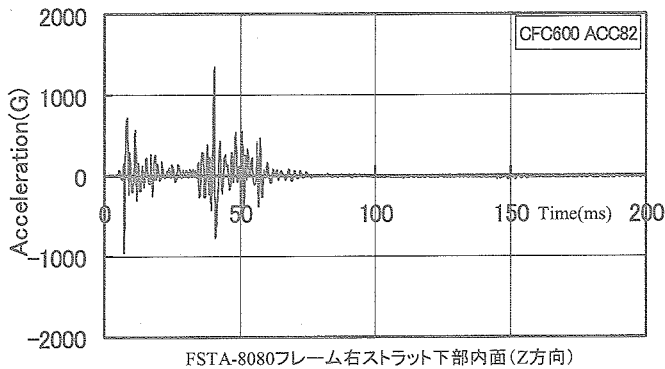
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -35/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -36/50



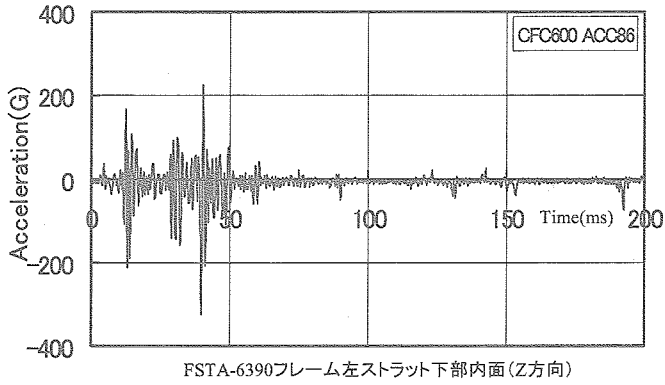
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -37/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -38/50

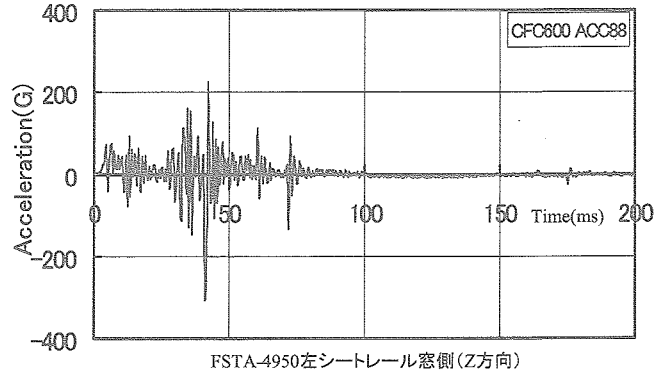


付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -39/50

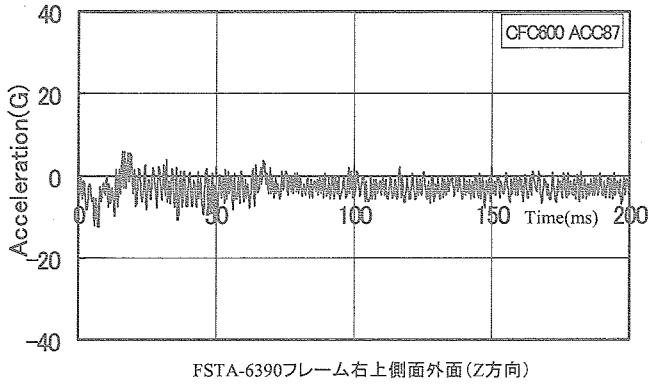
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -40/50



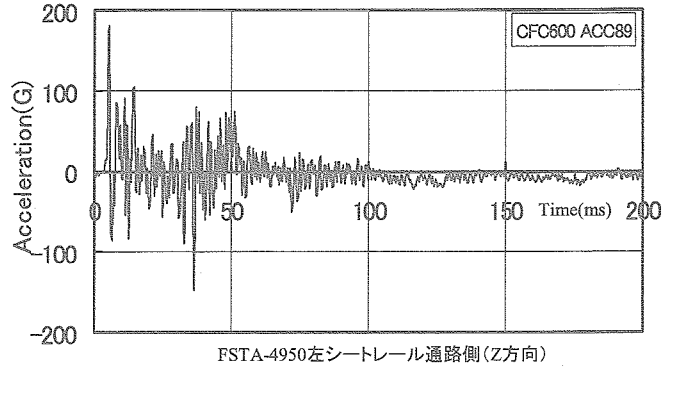
FSTA-6390フレーム左ストラット下部内面(Z方向)



FSTA-4950左シートレール窓側(Z方向)



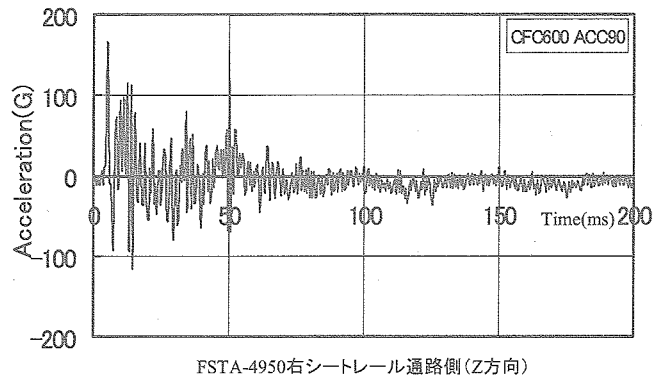
FSTA-6390フレーム右上側面外面(Z方向)



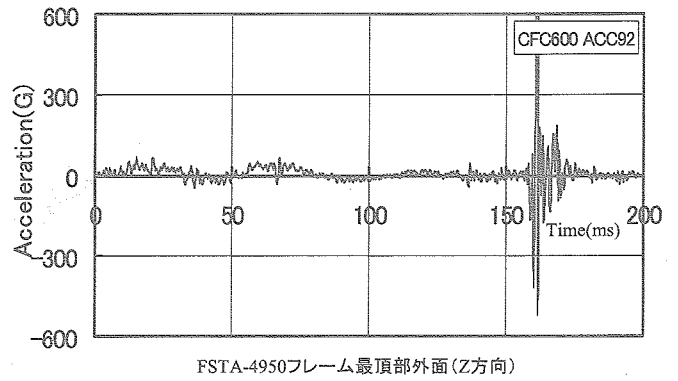
FSTA-4950左シートレール通路側(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -41/50

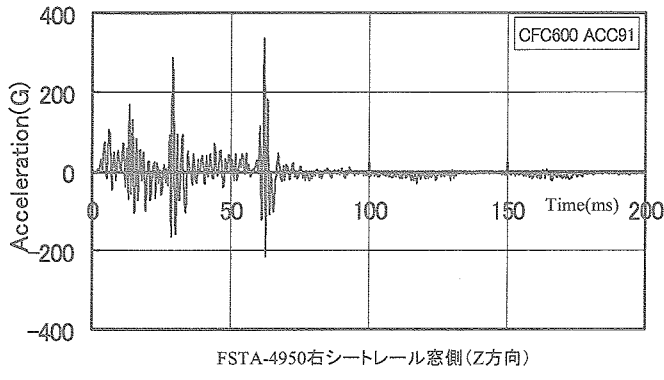
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -42/50



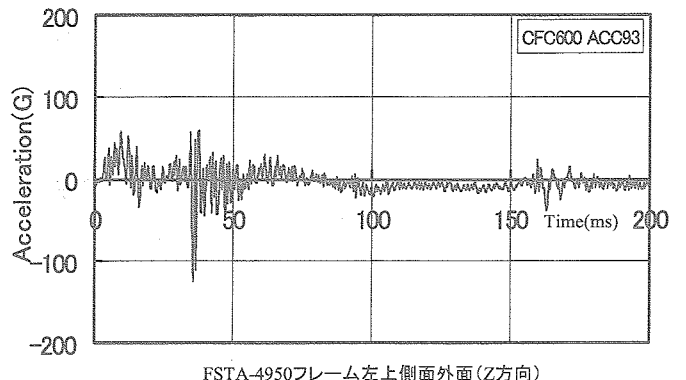
FSTA-4950右シートレール通路側(Z方向)



FSTA-4950フレーム最頂部外面(Z方向)



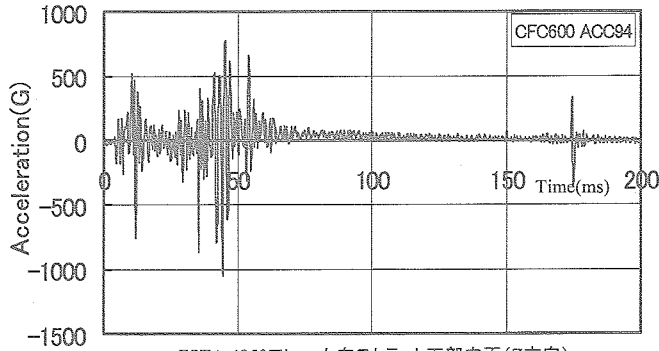
FSTA-4950右シートレール窓側(Z方向)



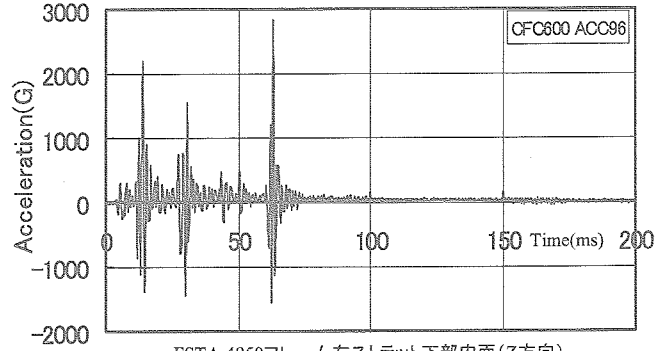
FSTA-4950フレーム左上側面外面(Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -43/50

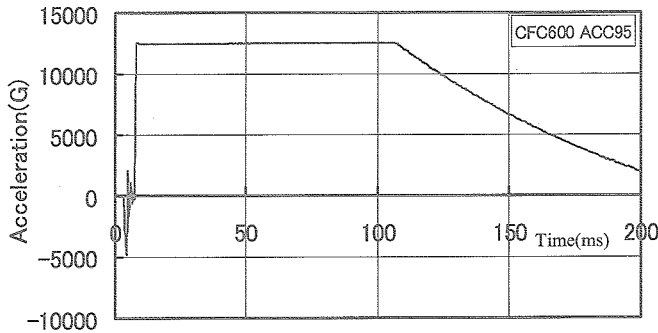
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -44/50



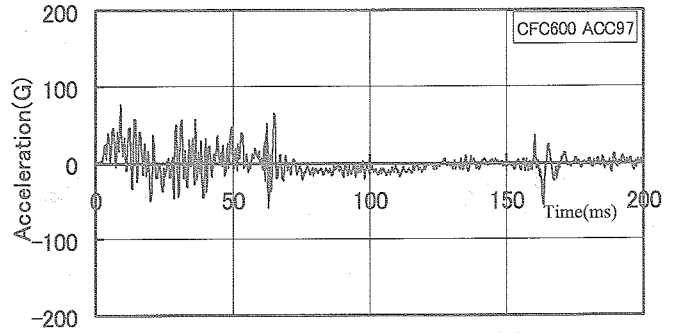
FSTA-4950フレーム左ストラット下部内面 (Z方向)



FSTA-4950フレーム右ストラット下部内面 (Z方向)



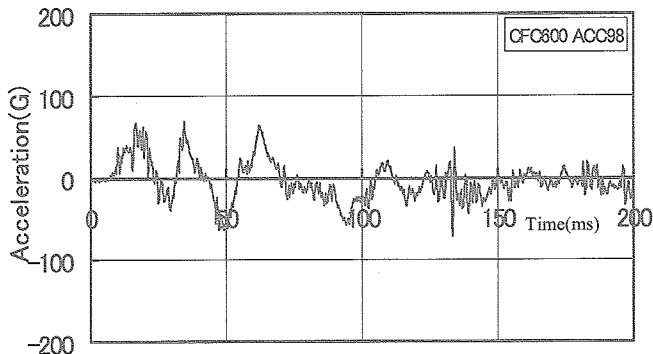
FSTA-4950最底部ストリンガー内面 (Z方向)



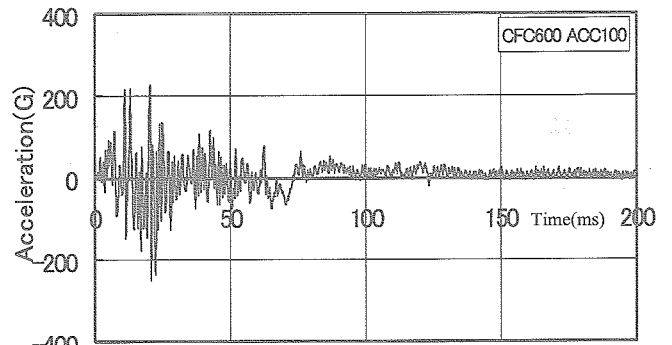
FSTA-4950フレーム右上側外面 (Z方向)

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -45/50

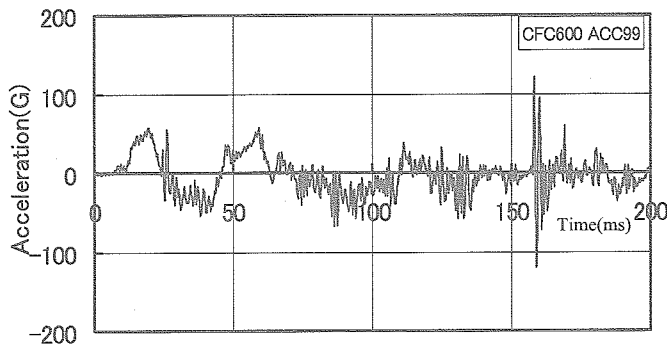
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -46/50



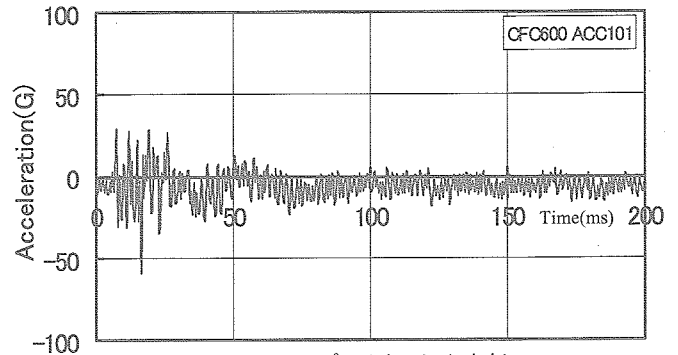
FSTA-6390左吊棚先端上面 (Z方向)



FSTA-6390プラットフォーム1 (Z方向)



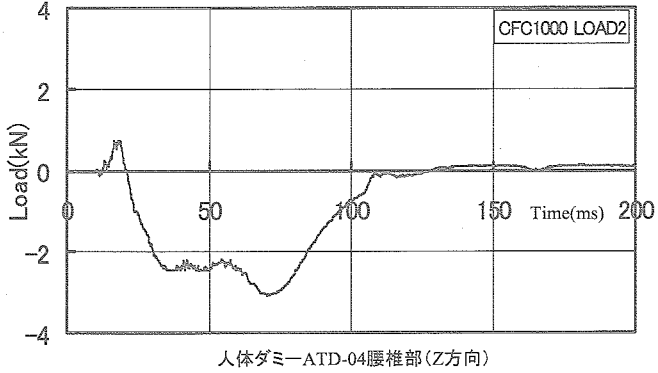
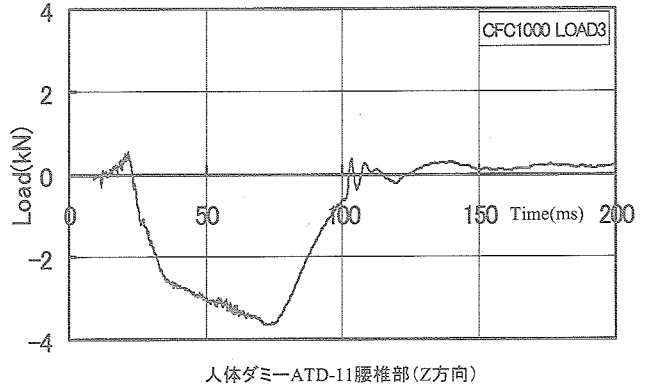
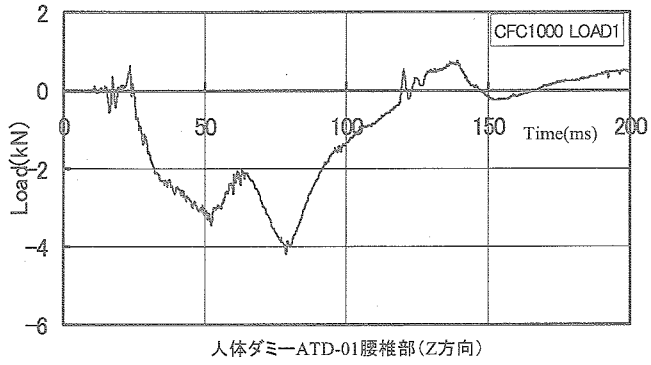
FSTA-6390右吊棚先端上面 (Z方向)



FSTA-6390プラットフォーム2 (Z方向)

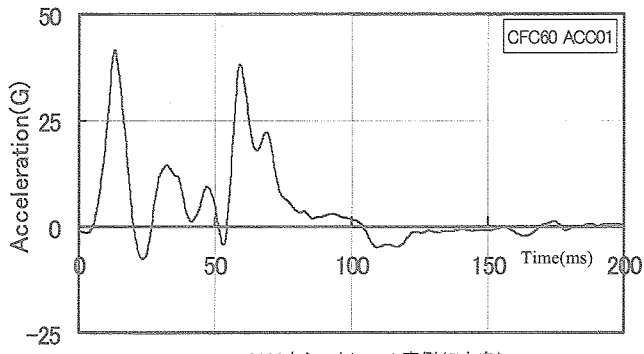
付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -47/50

付録1 CFC600処理の加速度時刻歴応答 -48/50

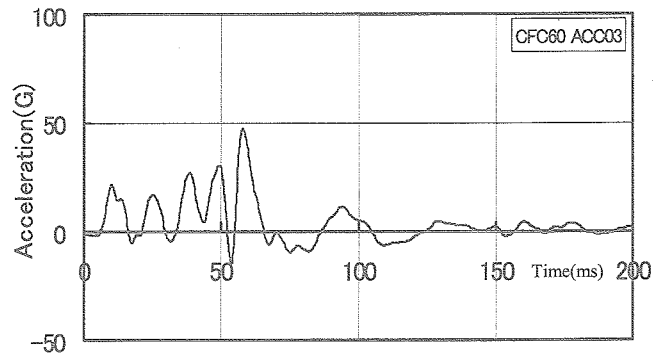


付録1 CFC600処理の荷重時刻歴応答 -49/50

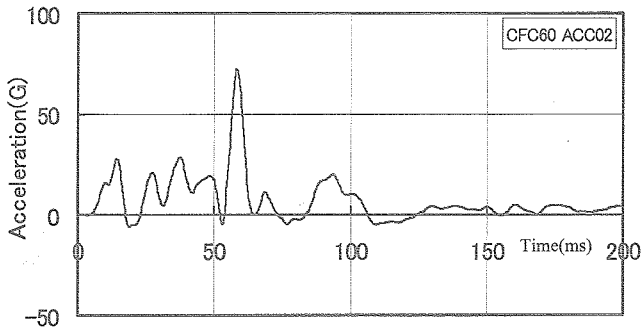
付録1 CFC600処理の荷重時刻歴応答 -50/50



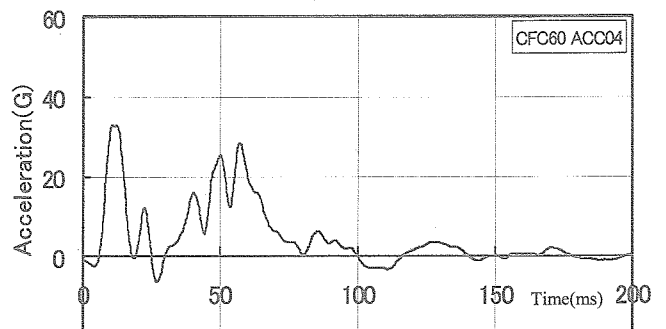
FSTA-8080左シートレール窓側(Z方向)



FSTA-8080右シートレール通路側(Z方向)



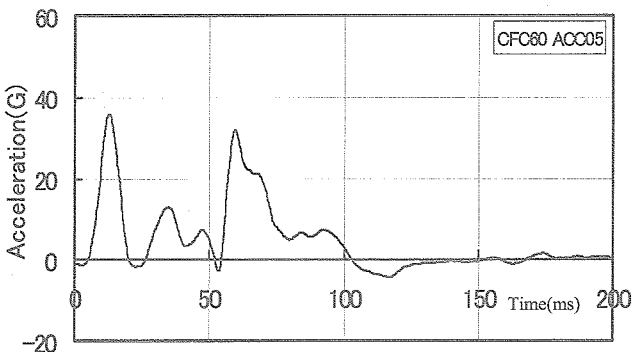
FSTA-8080左シートレール通路側(Z方向)



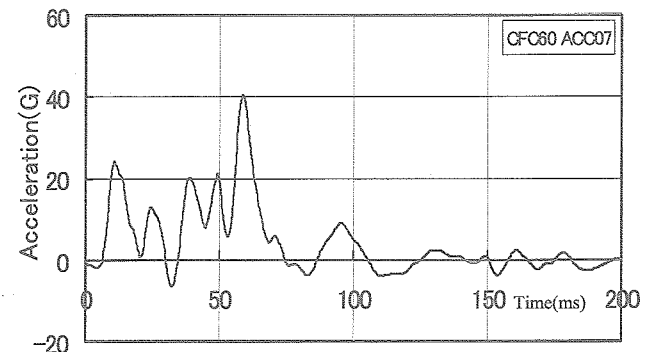
FSTA-8080右シートレール窓側(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -1/50

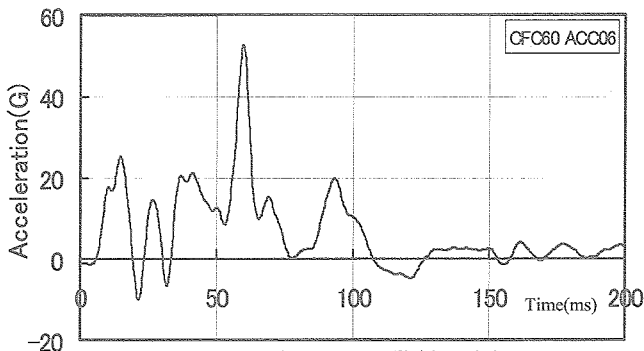
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -2/50



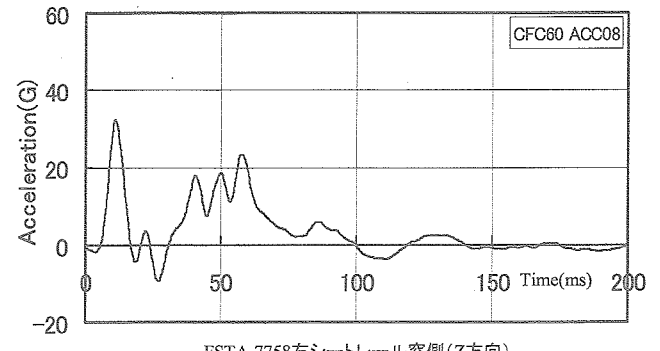
FSTA-7758左シートレール窓側(Z方向)



FSTA-7758右シートレール通路側(Z方向)



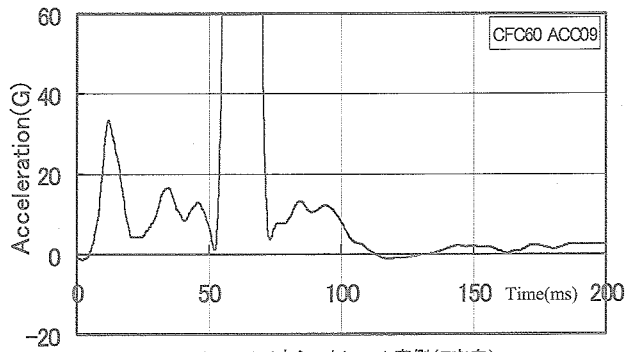
FSTA-7758左シートレール通路側(Z方向)



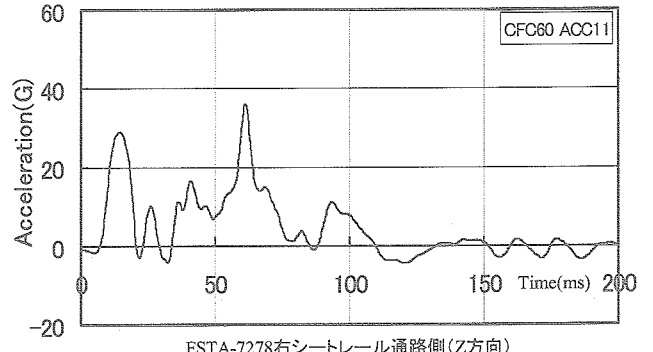
FSTA-7758右シートレール窓側(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -3/50

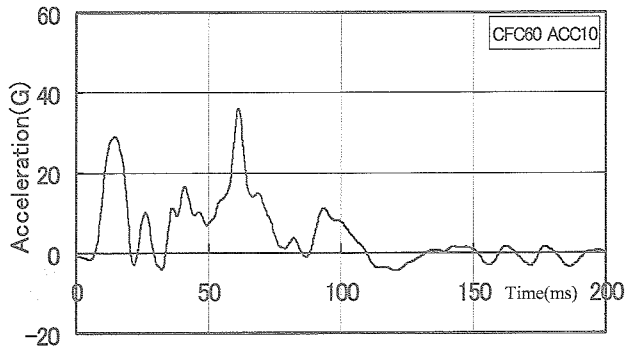
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -4/50



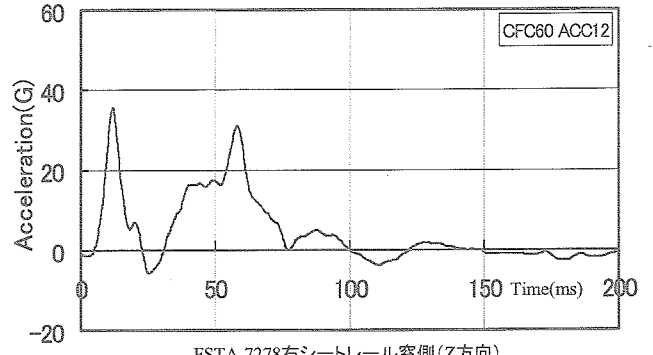
FSTA-7278左シートレール窓側(Z方向)



FSTA-7278右シートレール通路側(Z方向)



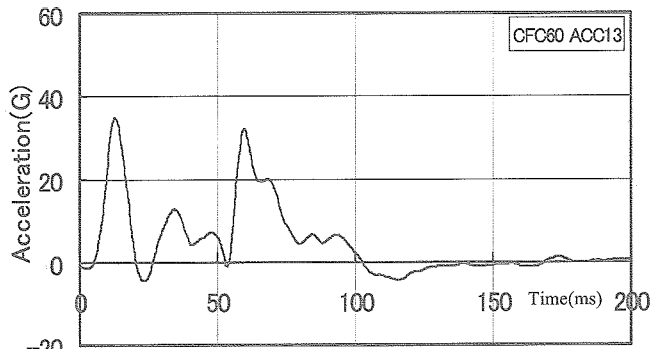
FSTA-7278左シートレール通路側(Z方向)



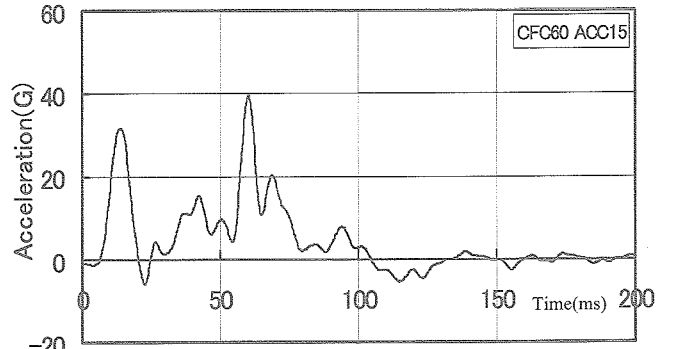
FSTA-7278右シートレール窓側(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -5/50

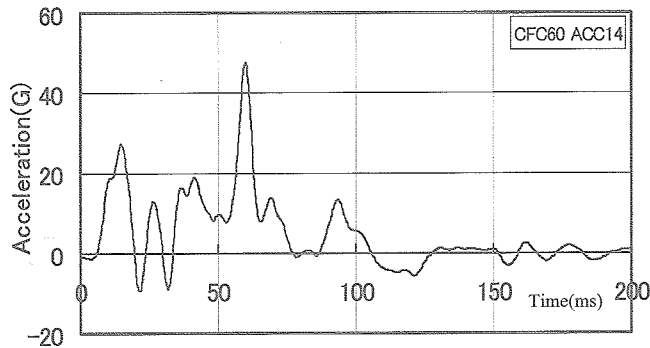
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -6/50



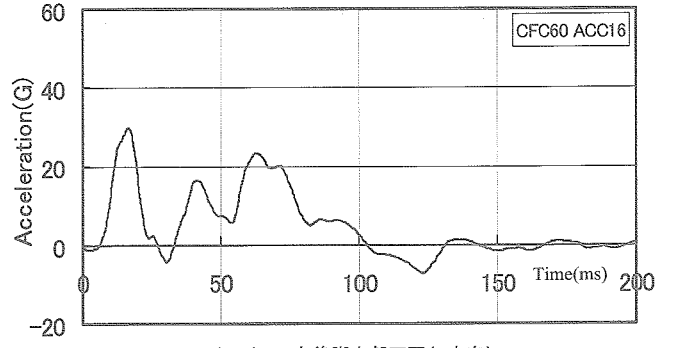
シート#1L左前脚上部下面(Z方向)



シート#1L前方チューブ中央下面(Z方向)



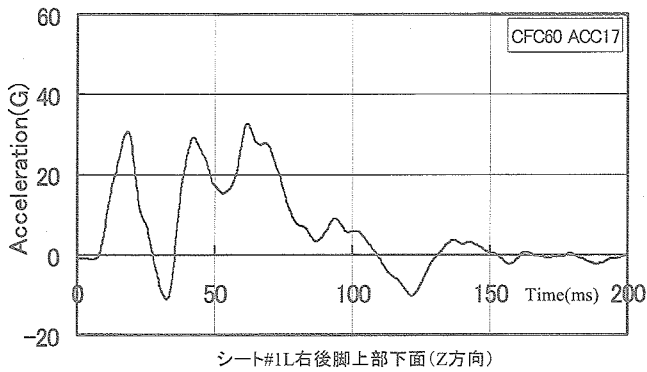
シート#1L右前脚上部下面(Z方向)



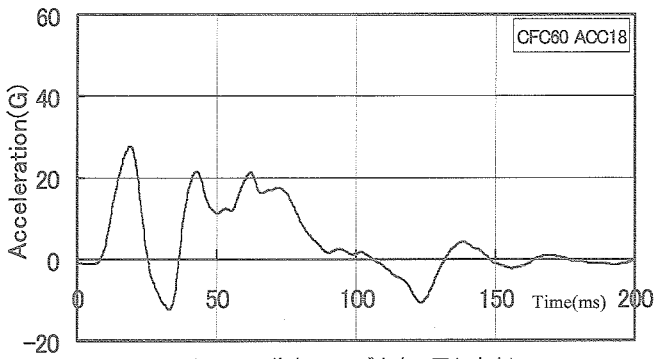
シート#1L左後脚上部下面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -7/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -8/50

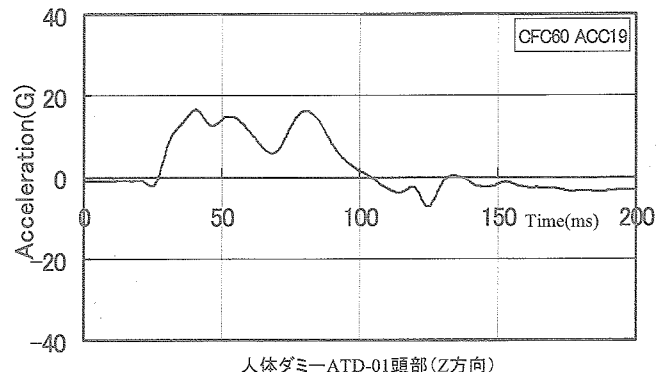


シート#1L右後脚上部下面(Z方向)

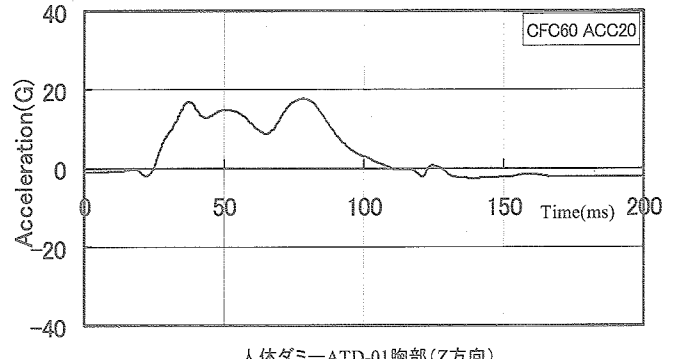


シート#1L後方チューブ中央下面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -9/50

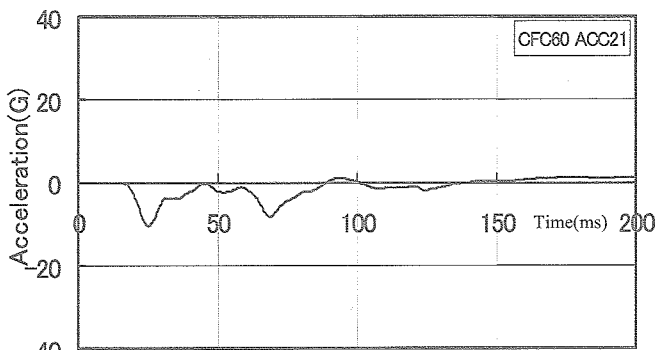


人体ダミーATD-01頭部(Z方向)

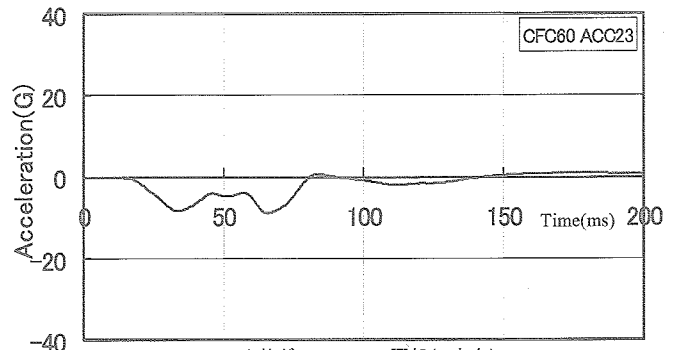


人体ダミーATD-01胸部(Z方向)

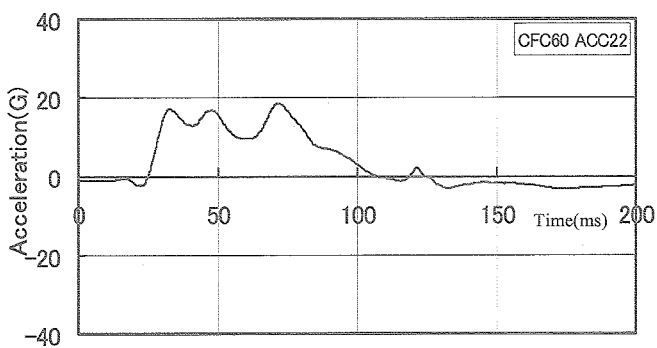
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -10/50



人体ダミーATD-01腰部(X方向)

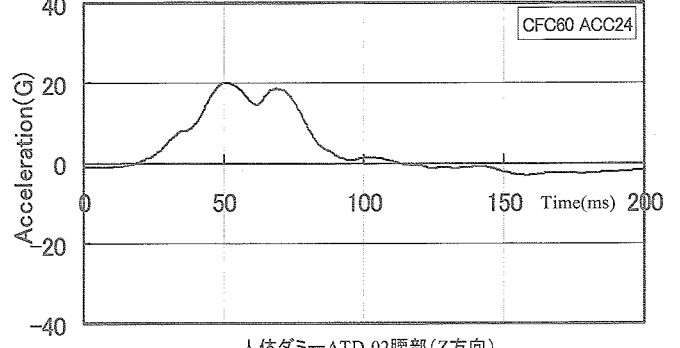


人体ダミーATD-02腰部(X方向)



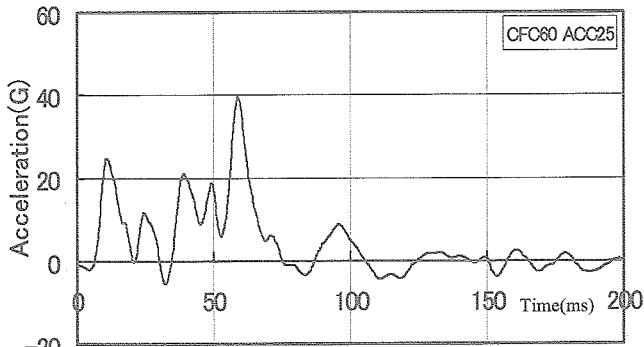
人体ダミーATD-01腰部(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -11/50

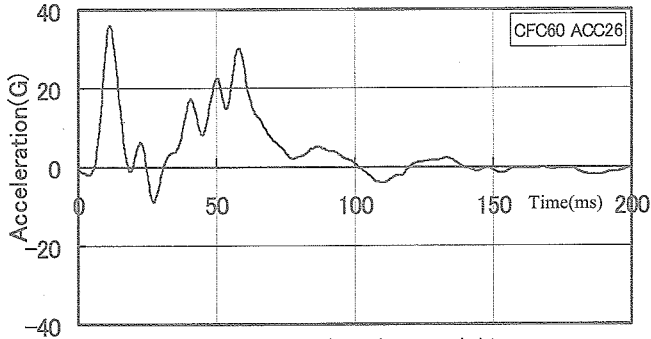


人体ダミーATD-02腰部(Z方向)

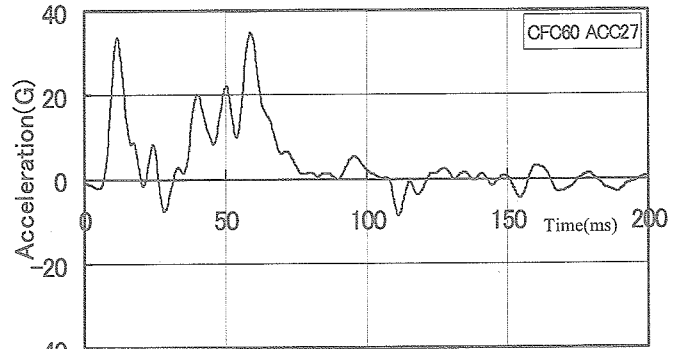
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -12/50



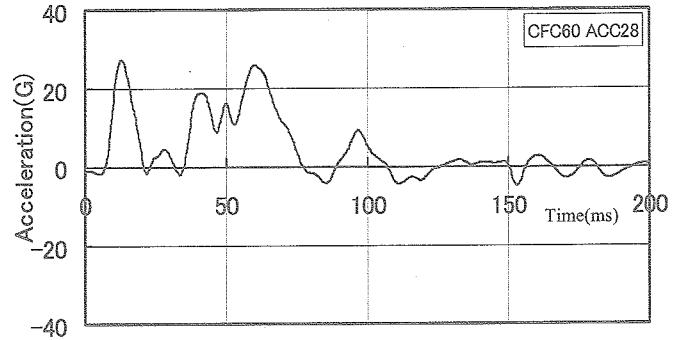
シート#1R左前脚上部下面(Z方向)



シート#1R右前脚上部下面(Z方向)



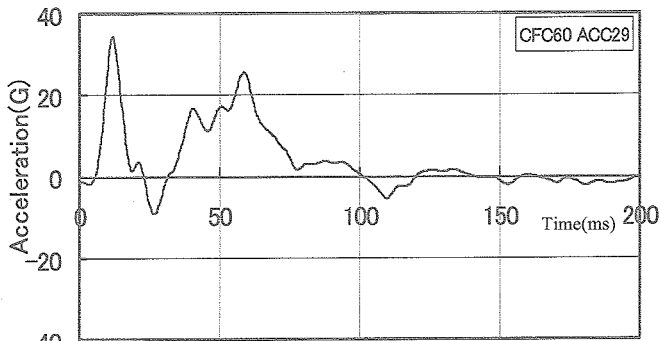
シート#1R前方チューブ中央下面(Z方向)



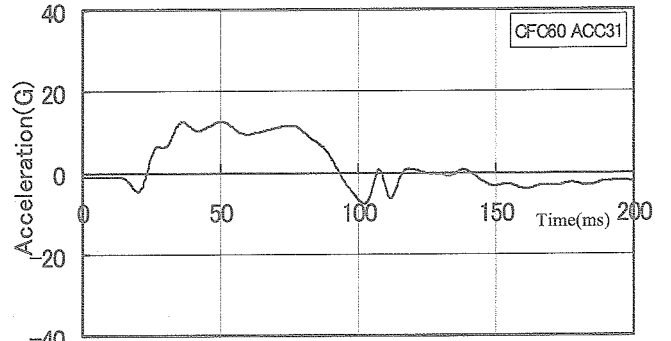
シート#1R左後脚上部下面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -13/50

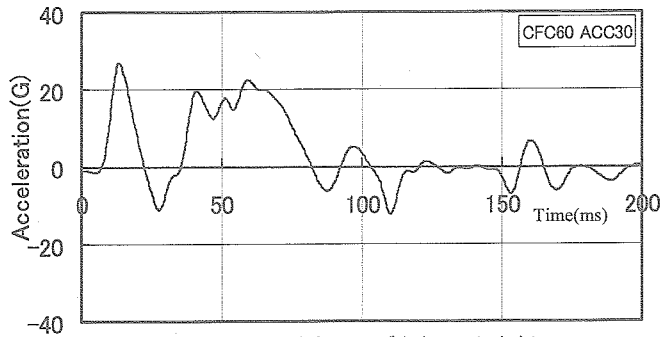
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -14/50



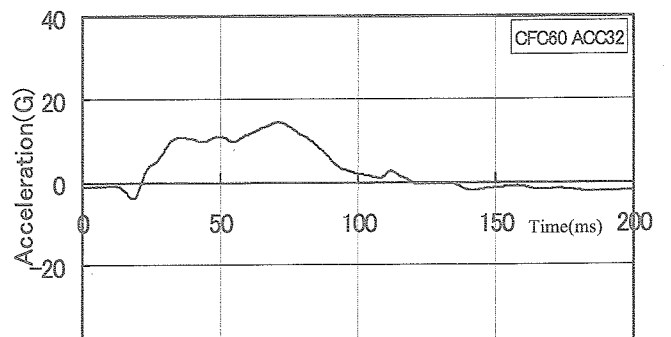
シート#1R右後脚上部下面(Z方向)



人体ダミー-ATD-04頭部(Z方向)



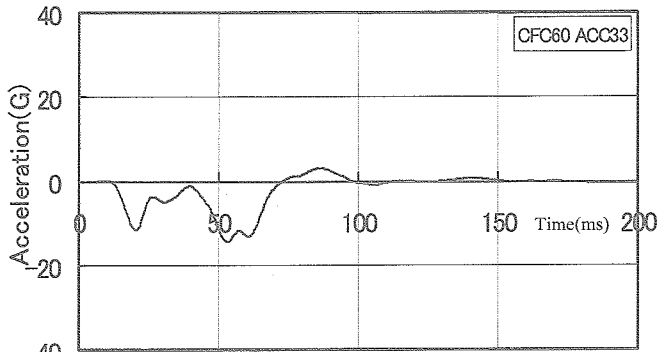
シート#1R後方チューブ中央下面(Z方向)



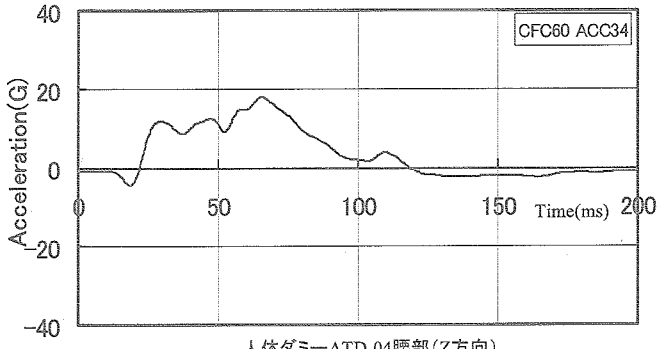
人体ダミー-ATD-04胸部(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -15/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -16/50

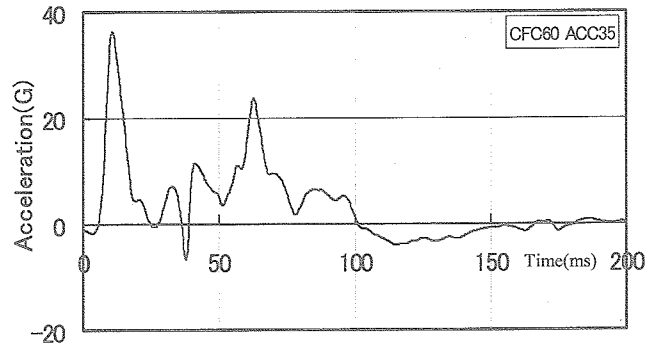


人体ダミー-ATD-04腰部(X方向)

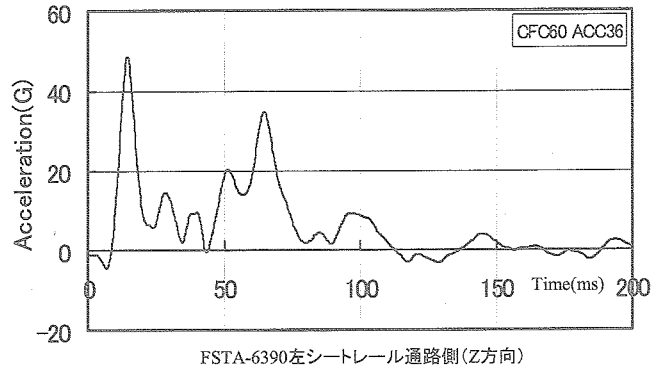


人体ダミー-ATD-04腰部(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -17/50

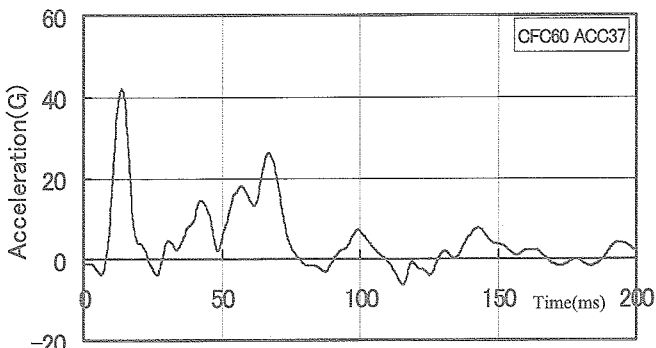


FSTA-6390左シートレール窓側(Z方向)

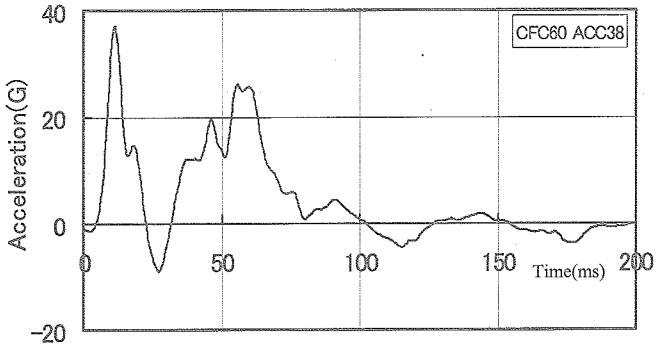


FSTA-6390左シートレール通路側(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -18/50

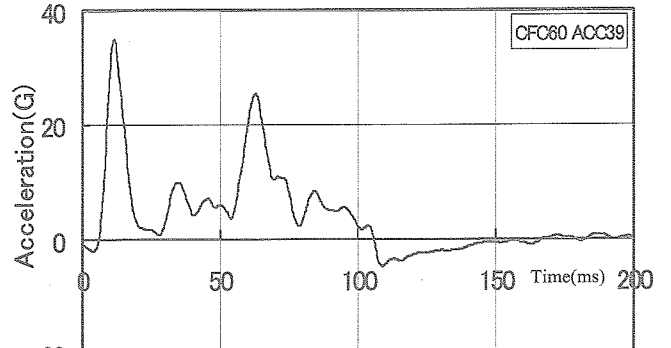


FSTA-6390右シートレール通路側(Z方向)

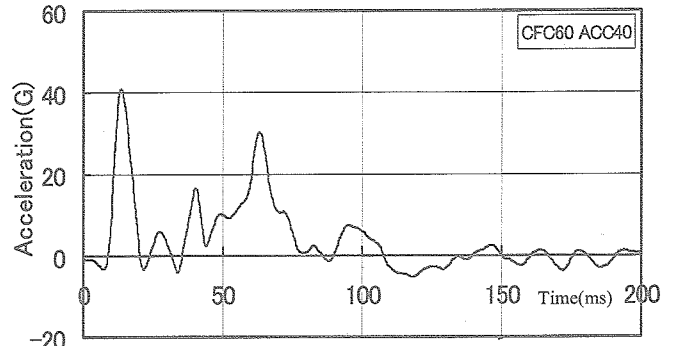


FSTA-6390右シートレール窓側(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -19/50

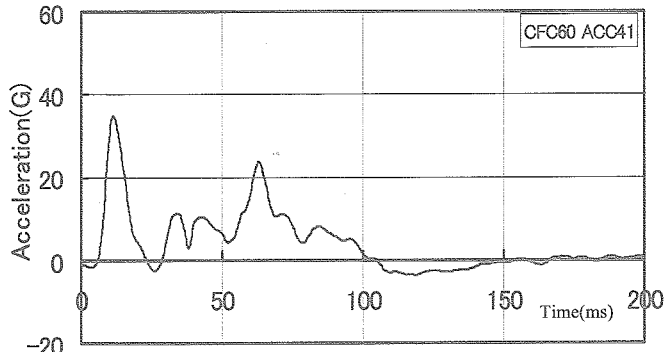


シート#2L左前脚上部下面(Z方向)

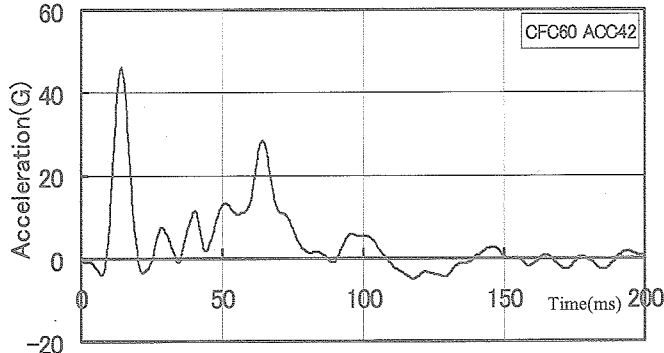


シート#2L右前脚上部下面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -20/50

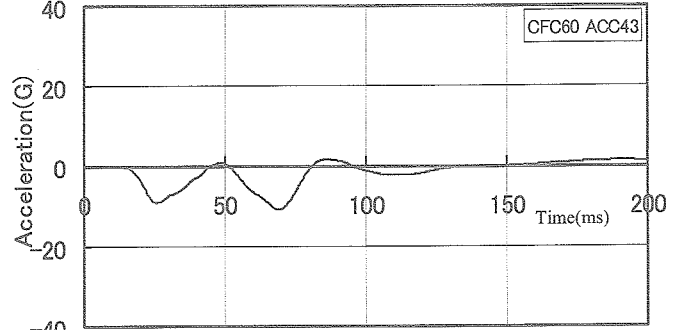


シート#2L左後脚上部下面 (Z方向)

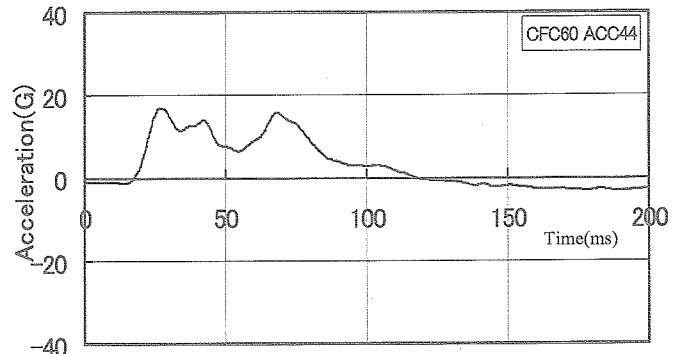


シート#2L右後脚上部下面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -21/50

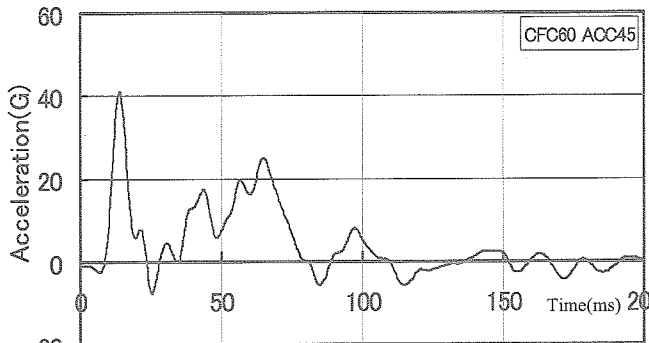


人体ダミーATD-06腰部 (X方向)

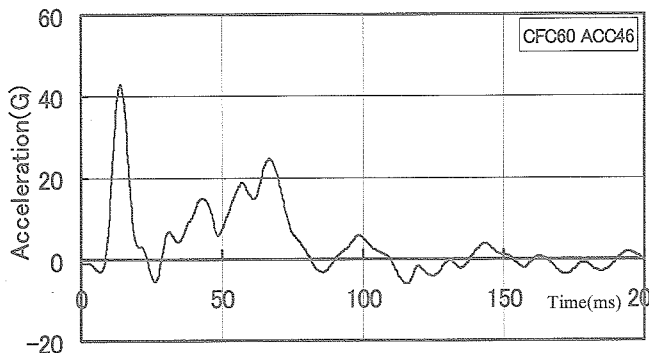


人体ダミーATD-06腰部 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -22/50

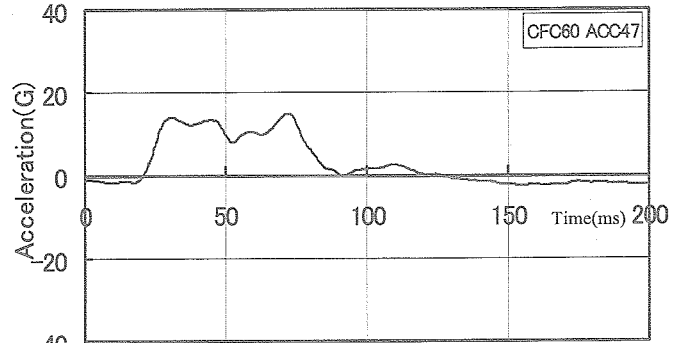


シート#2R左前脚上部下面 (Z方向)

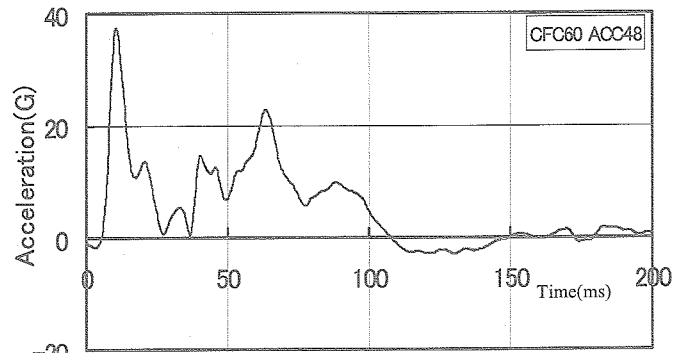


シート#2R左後脚上部下面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -23/50

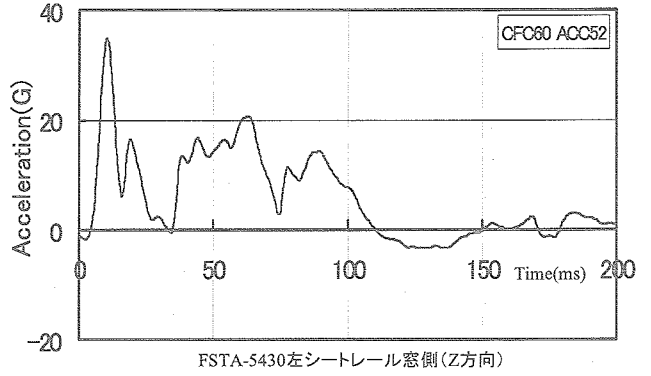
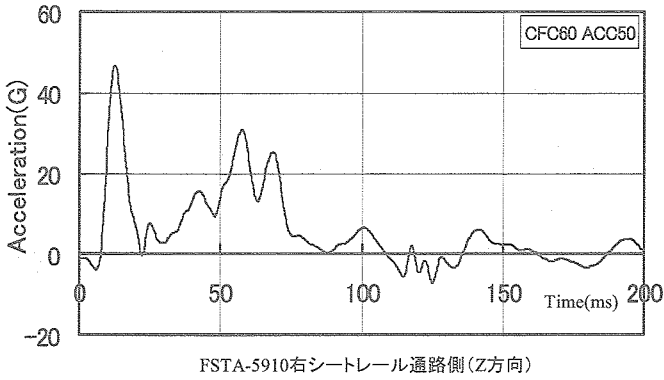
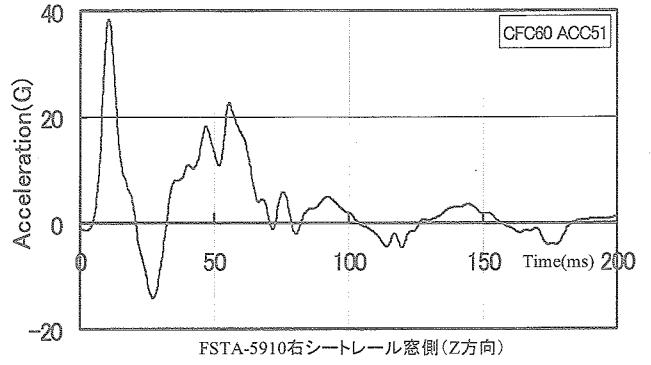
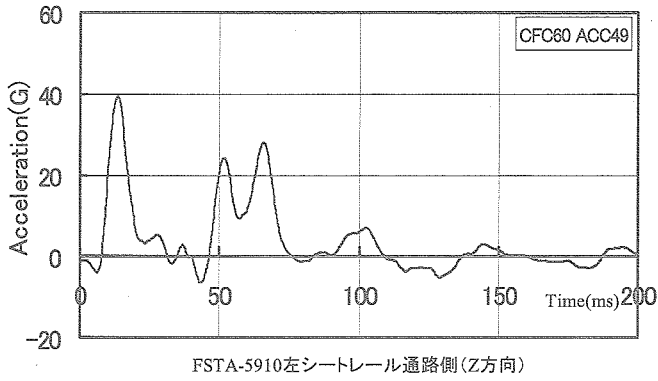


人体ダミーATD-07腰部 (Z方向)



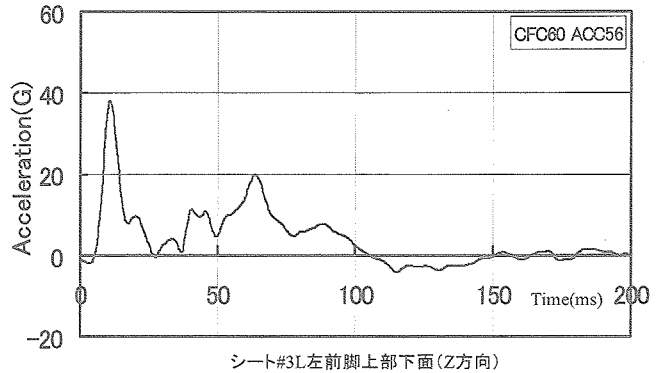
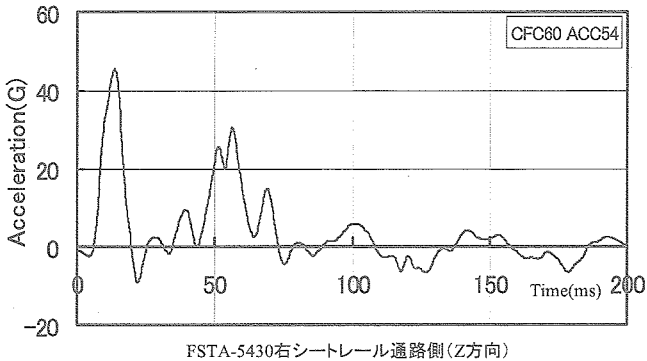
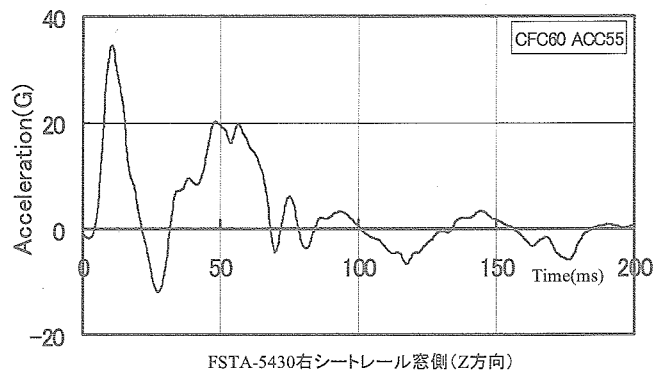
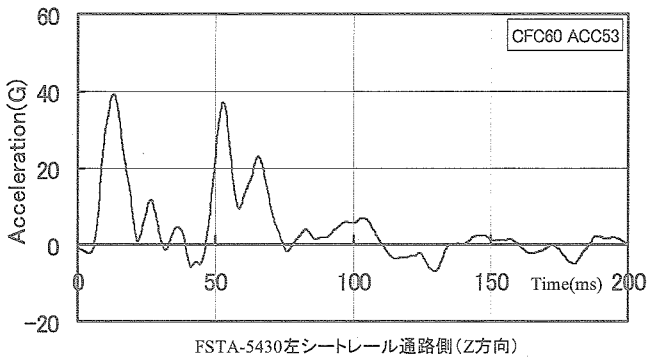
FSTA-5910左シートレール窓側 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -24/50



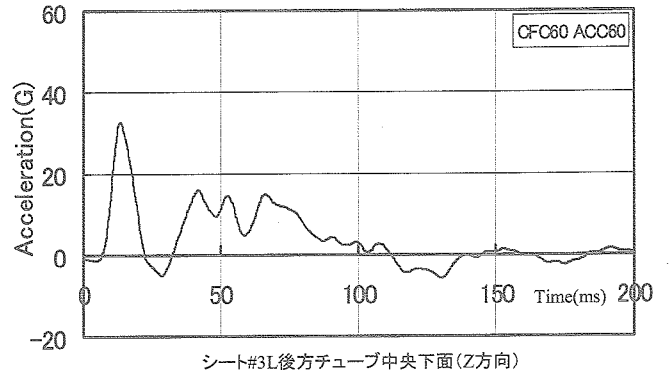
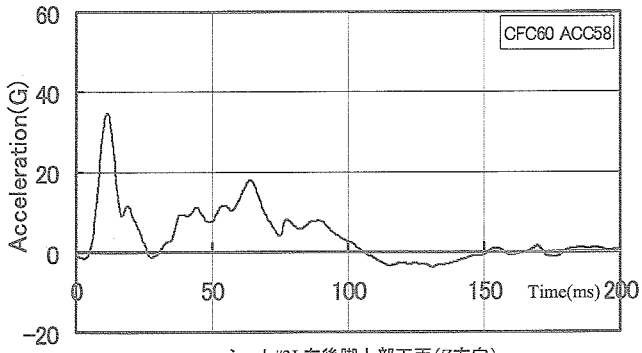
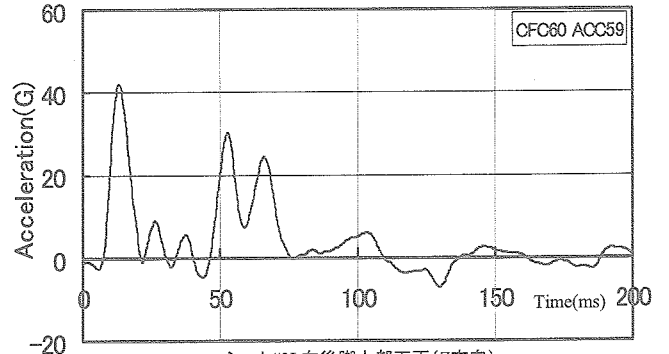
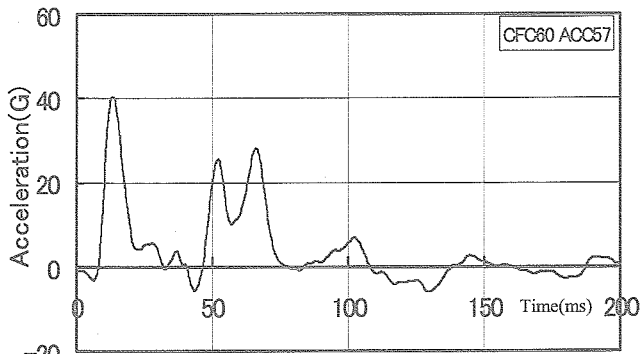
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -25/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -26/50



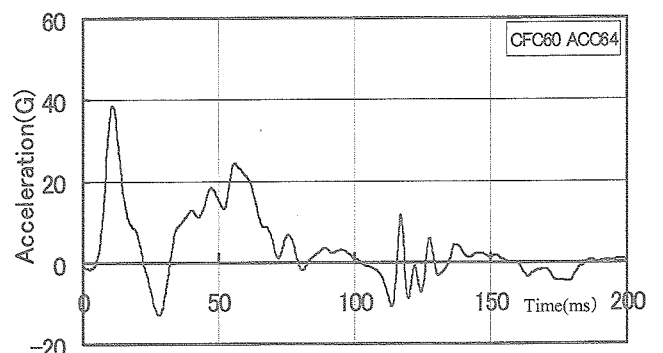
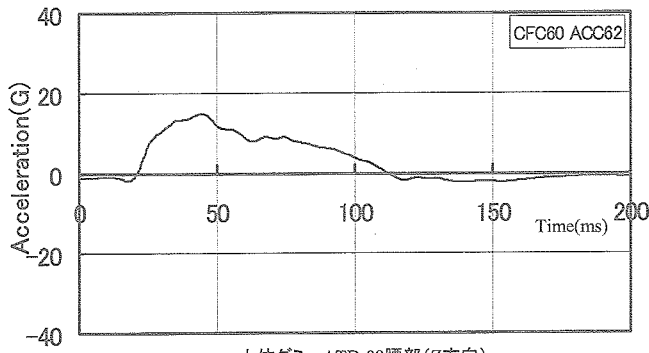
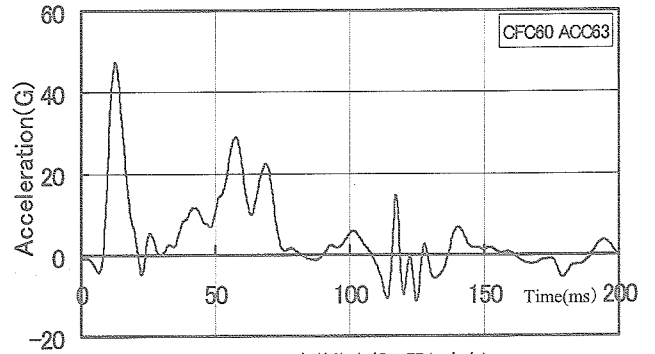
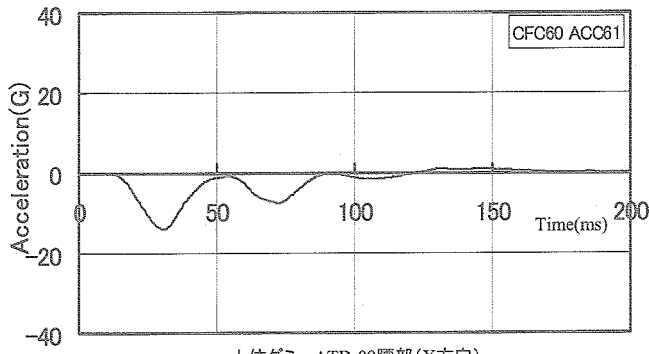
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -27/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -28/50



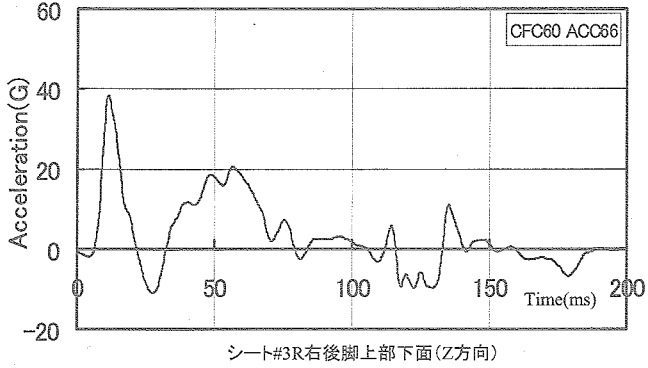
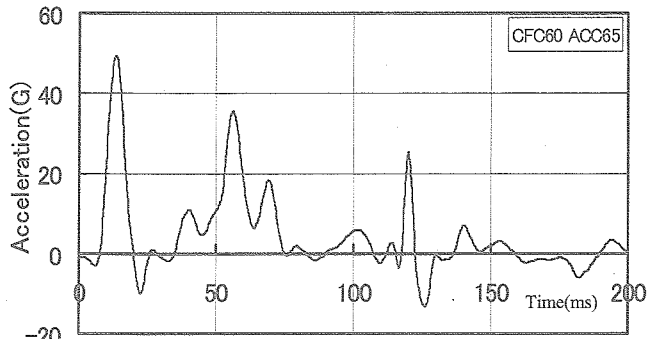
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -29/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -30/50

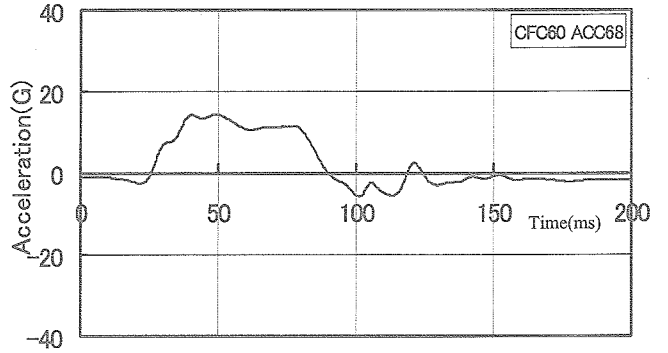
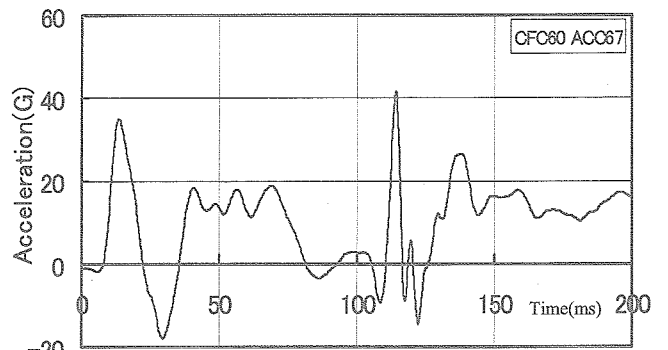


付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -31/50

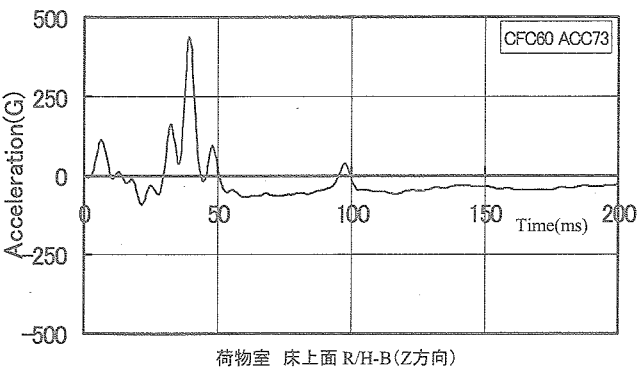
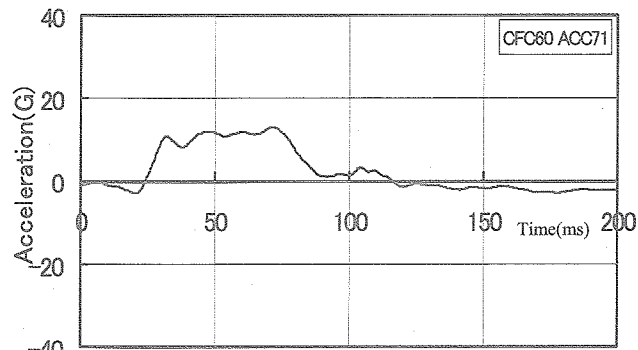
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -32/50



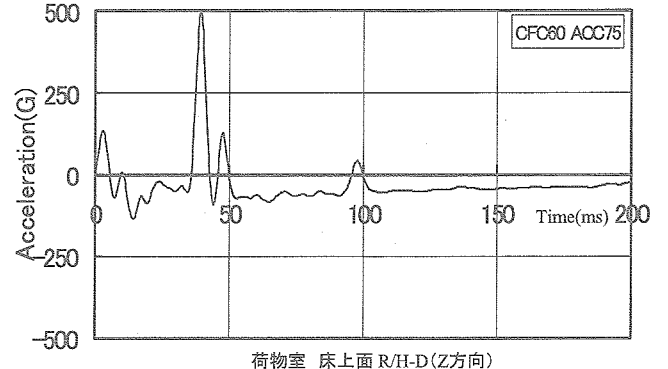
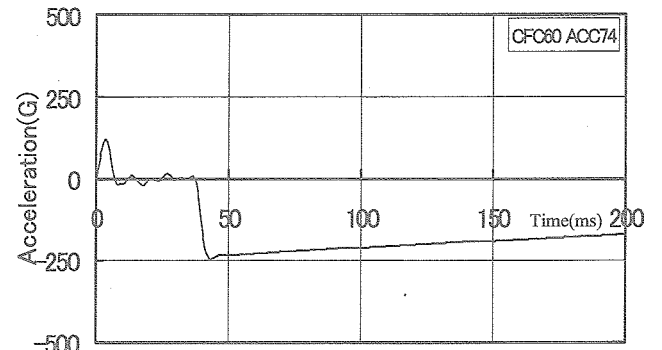
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -33/50



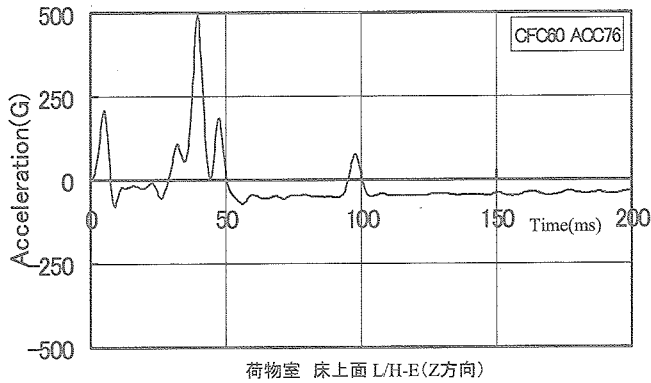
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -34/50



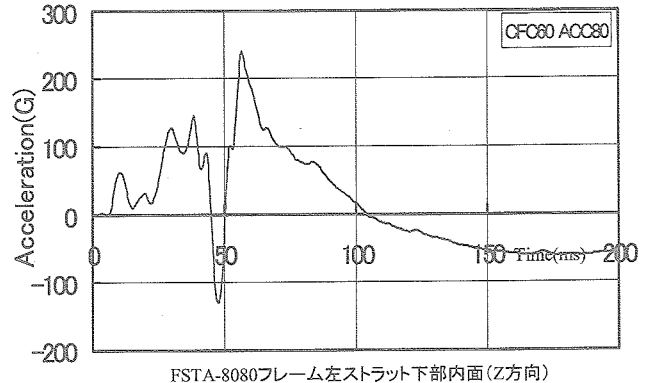
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -35/50



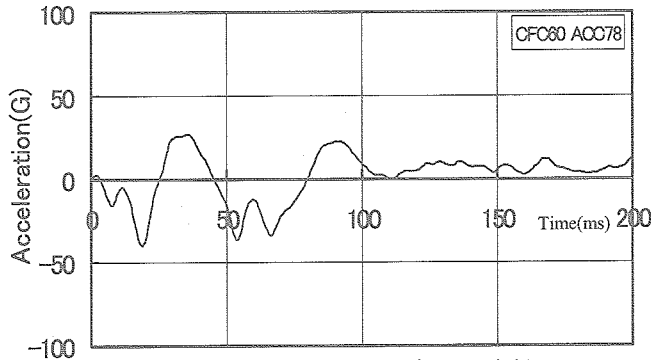
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -36/50



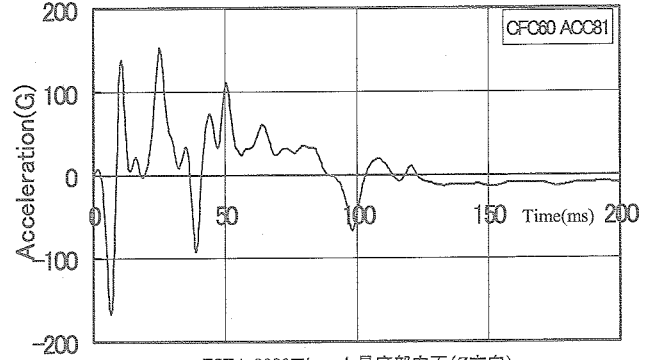
荷物室 床上面 L/H-E(Z方向)



FSTA-8080フレーム左ストラット下部内面(Z方向)



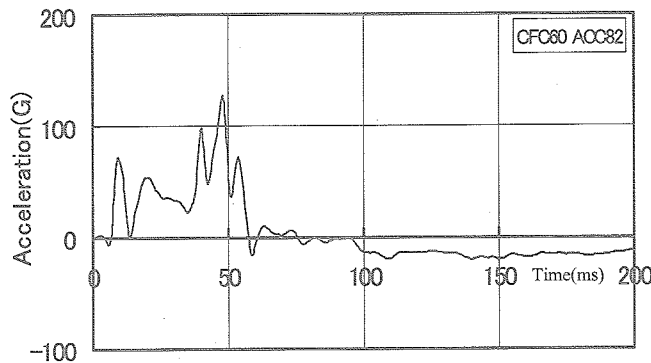
FSTA-8080フレーム最頂部外面(Z方向)



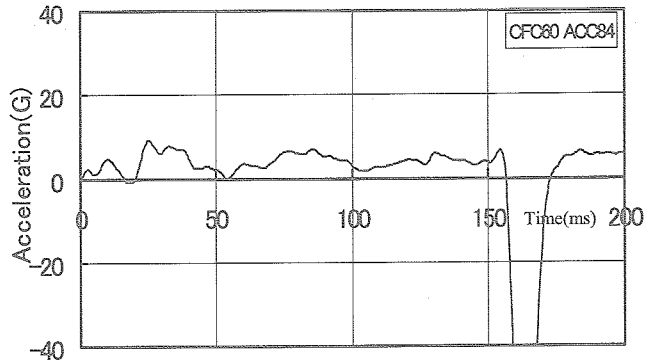
FSTA-8080フレーム最底部内面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -37/50

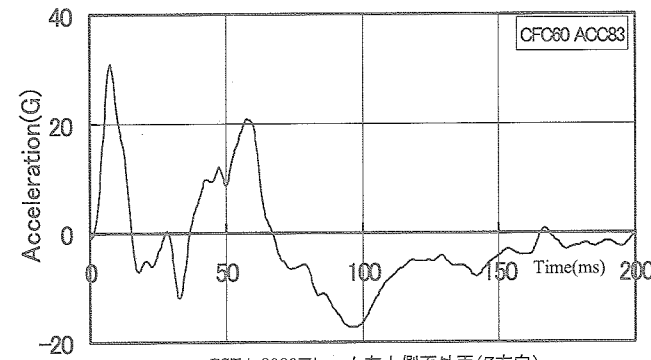
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -38/50



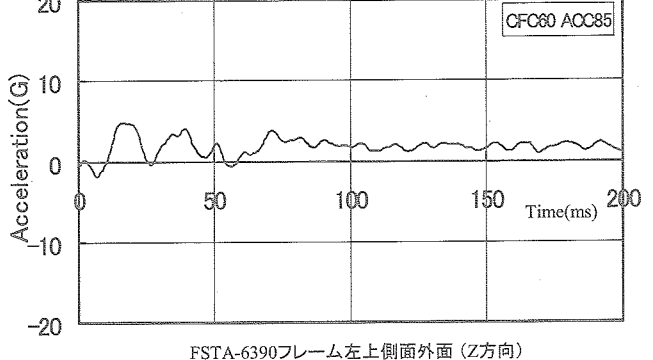
FSTA-8080フレーム右ストラット下部内面(Z方向)



FSTA-6390フレーム最頂部外面(Z方向)



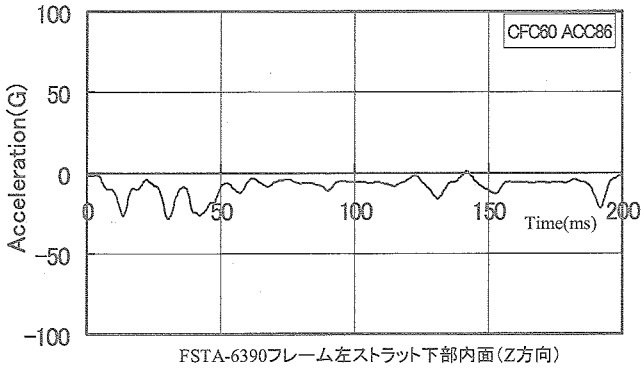
FSTA-8080フレーム右上側面外面(Z方向)



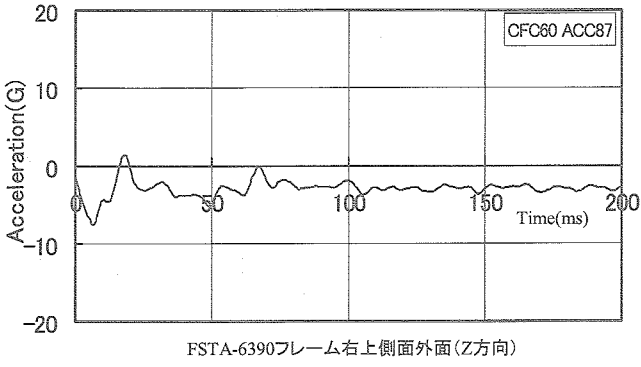
FSTA-6390フレーム左上側面外面(Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -39/50

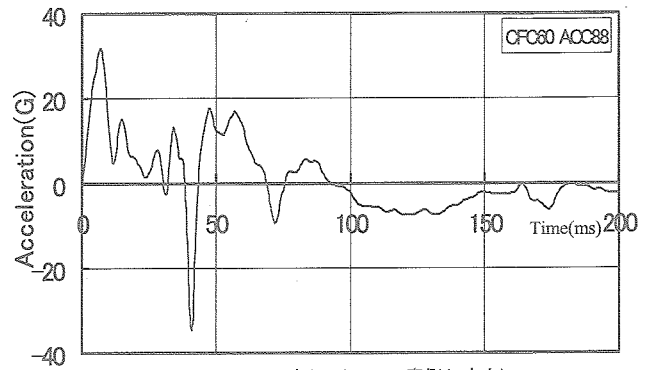
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -40/50



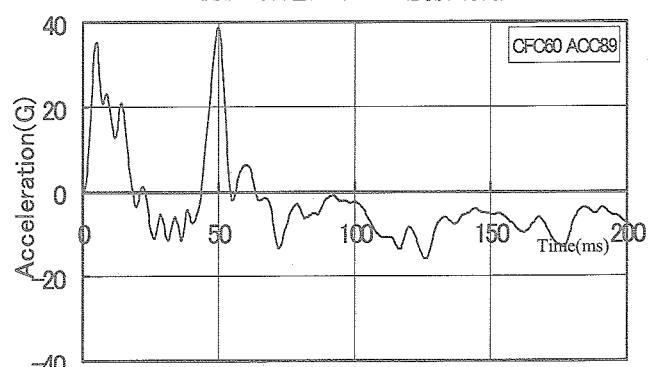
FSTA-6390フレーム左ストラット下部内面 (Z方向)



FSTA-6390フレーム右上側面外面 (Z方向)



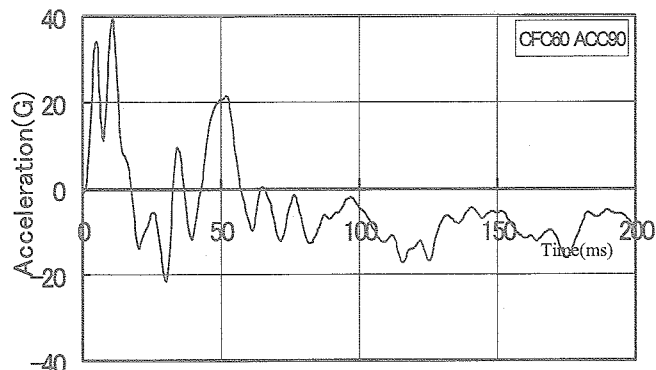
FSTA-4950左シートレール窓側 (Z方向)



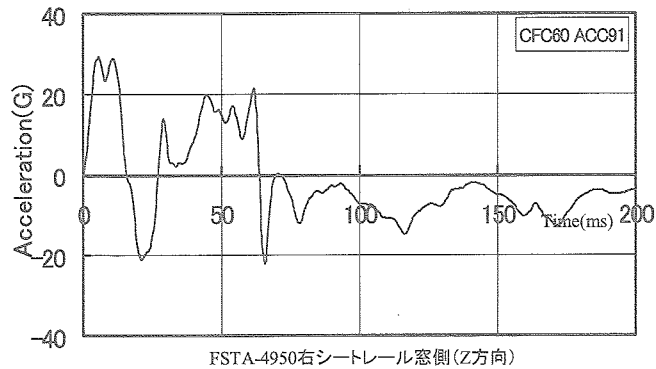
FSTA-4950左シートレール通路側 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -41/50

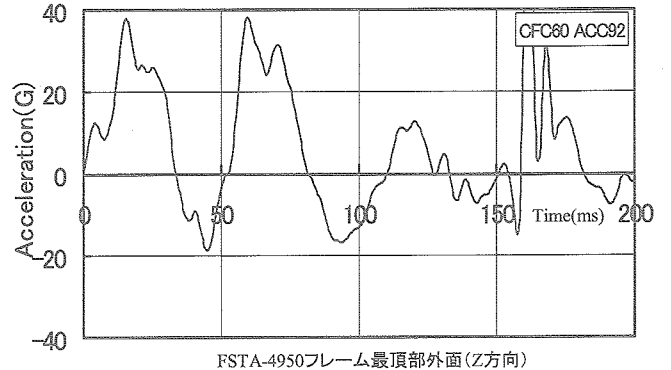
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -42/50



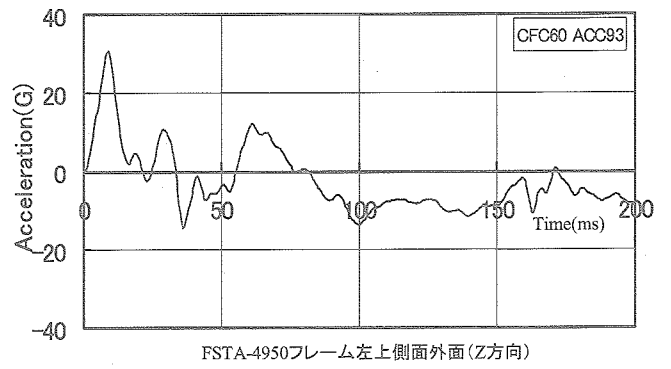
FSTA-4950右シートレール通路側 (Z方向)



FSTA-4950右シートレール窓側 (Z方向)



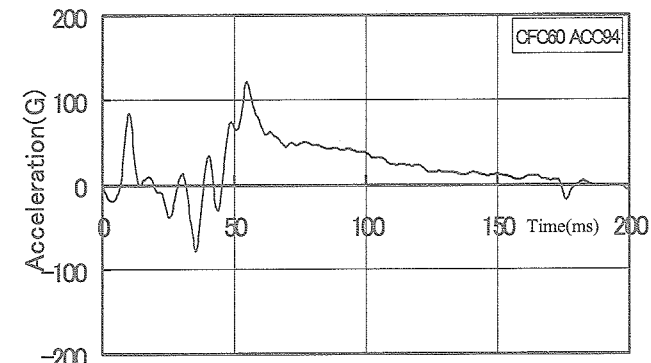
FSTA-4950フレーム最頂部外面 (Z方向)



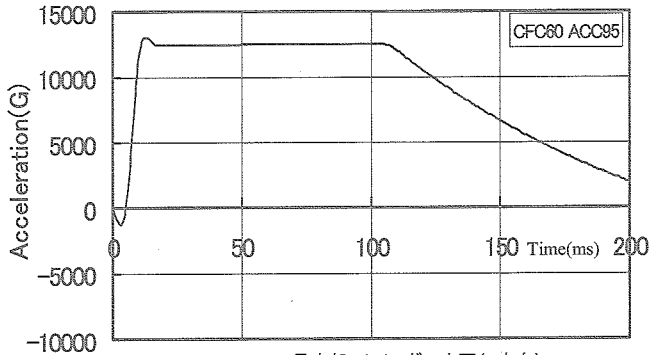
FSTA-4950フレーム左上側面外面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -43/50

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -44/50

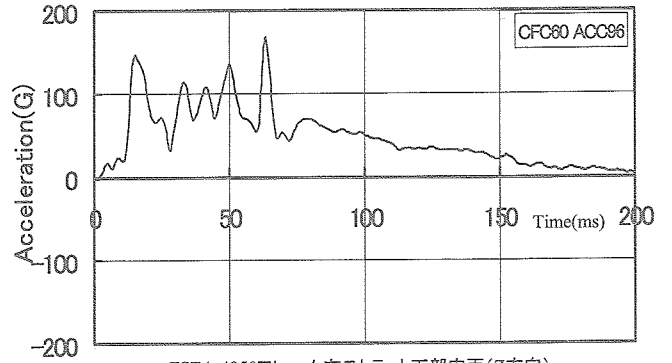


FSTA-4950フレーム左ストラット下部内面 (Z方向)

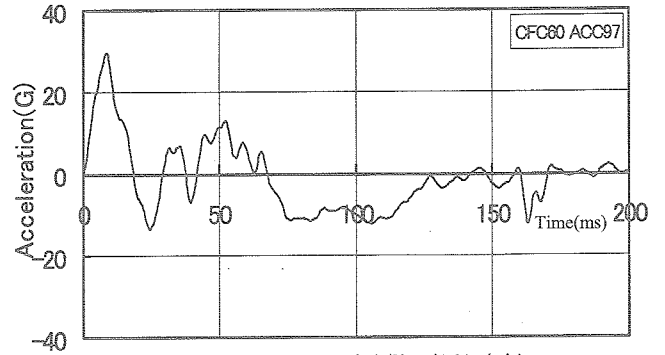


FSTA-4950最底部ストリンガー内面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -45/50

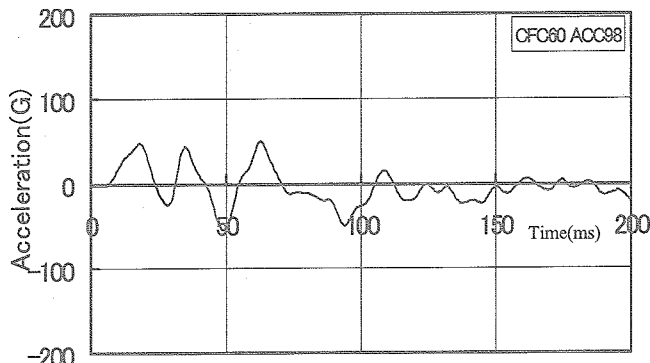


FSTA-4950フレーム右ストラット下部内面 (Z方向)

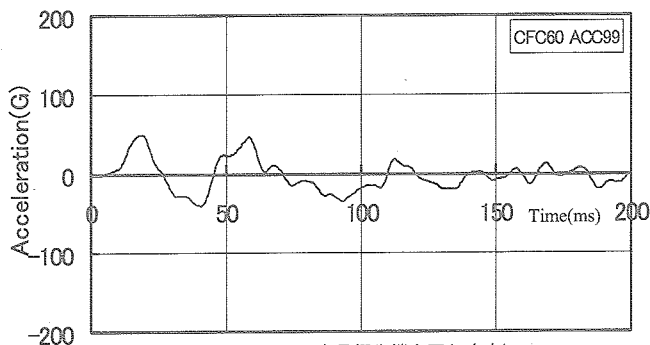


FSTA-4950フレーム右上側面外面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -46/50

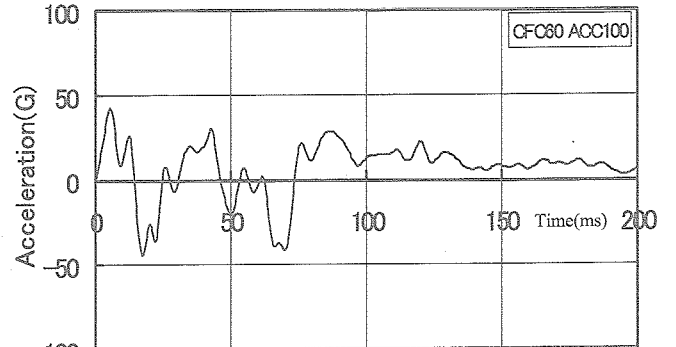


FSTA-6390左吊棚先端上面 (Z方向)

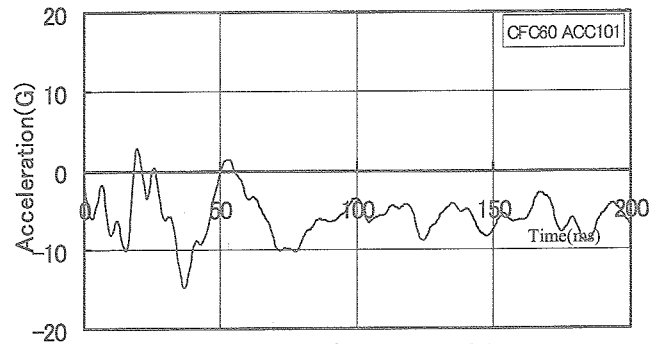


FSTA-6390右吊棚先端上面 (Z方向)

付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -47/50

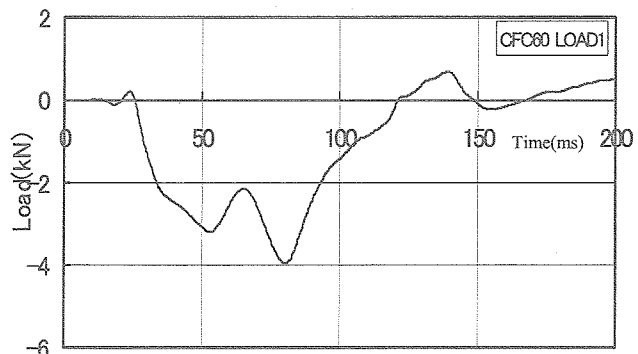


FSTA-6390プラットフォーム1 (Z方向)

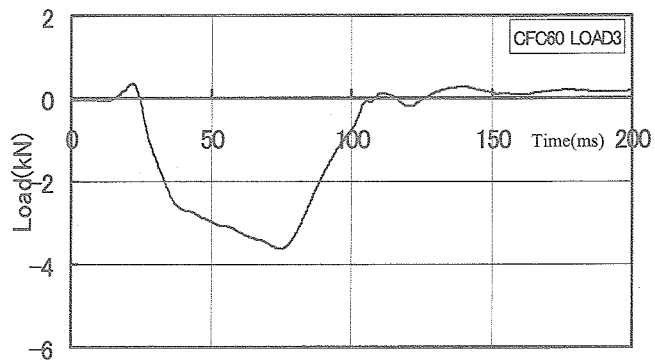


FSTA-6390プラットフォーム2 (Z方向)

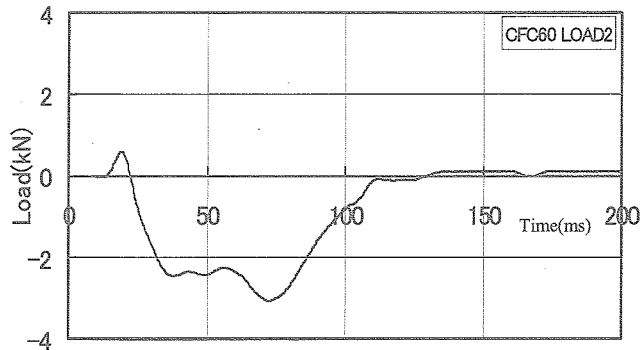
付録2 CFC60処理の加速度時刻歴応答 -48/50



人体ダミーATD-01腰椎部(Z方向)



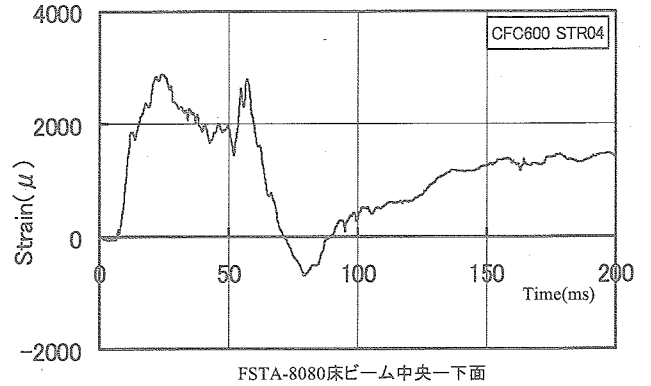
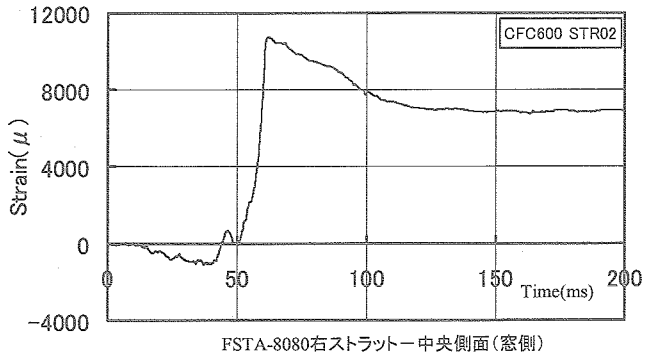
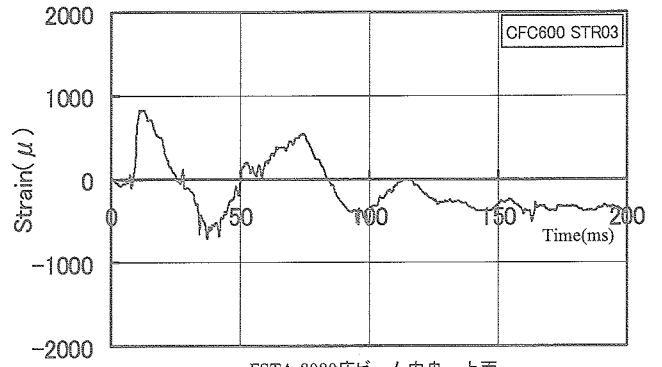
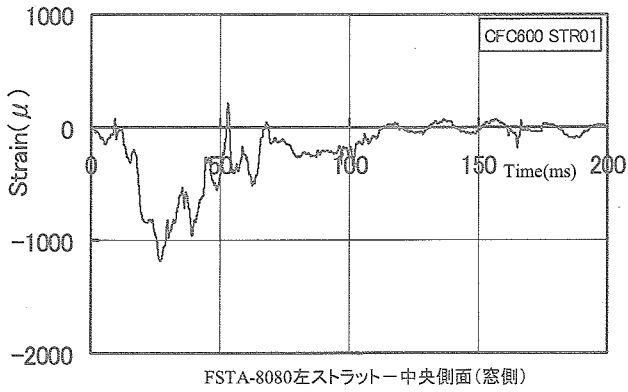
人体ダミーATD-11腰椎部(Z方向)



人体ダミーATD-04腰椎部(Z方向)

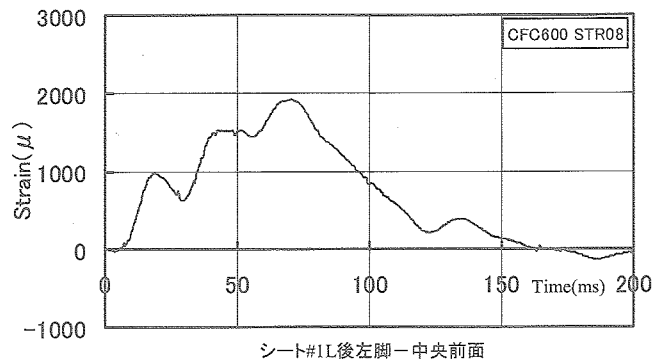
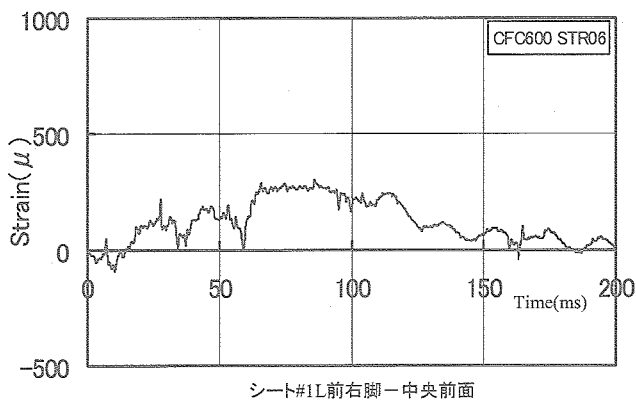
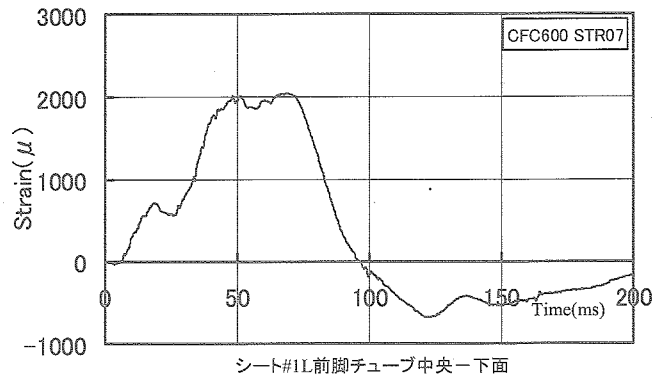
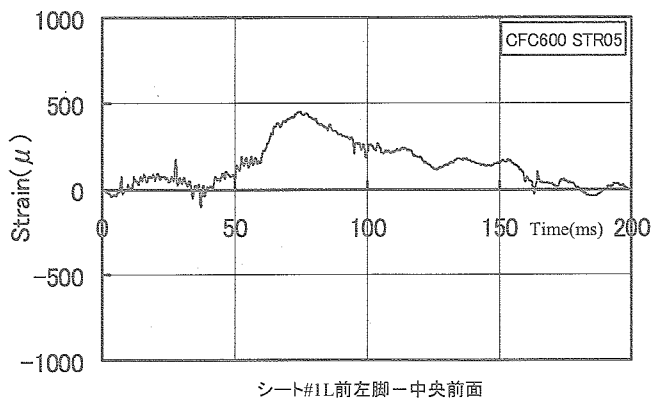
付録2 CFC60処理の圧縮荷重時刻歴応答 -49/50

付録2 CFC60処理の圧縮荷重時刻歴応答 -50/50



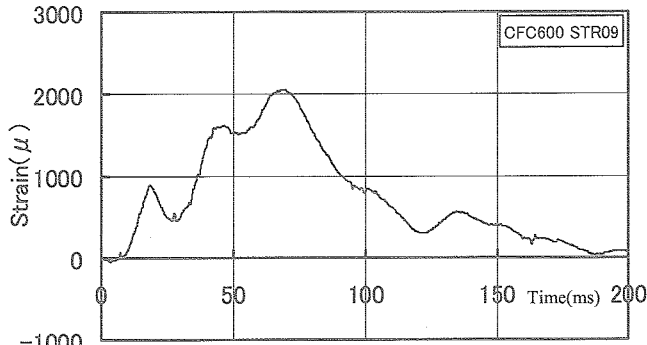
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -1/30

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -2/30

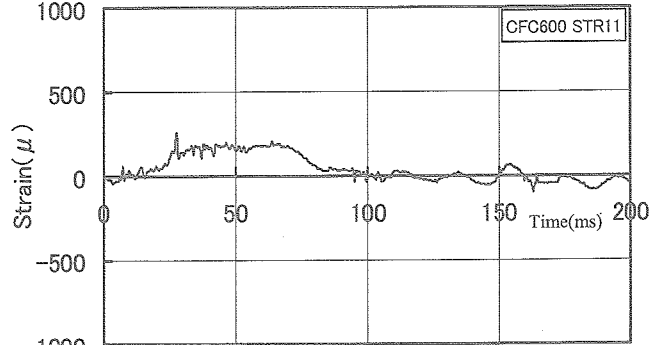


付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -3/30

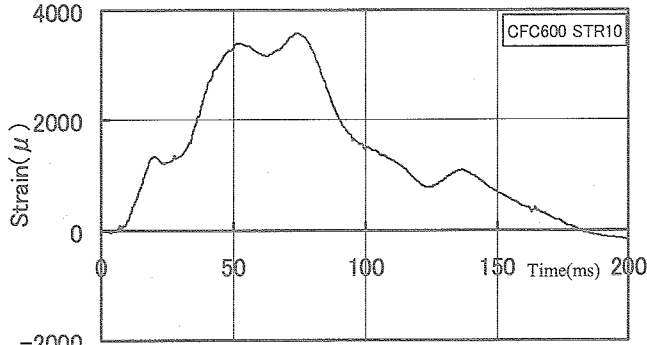
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -4/30



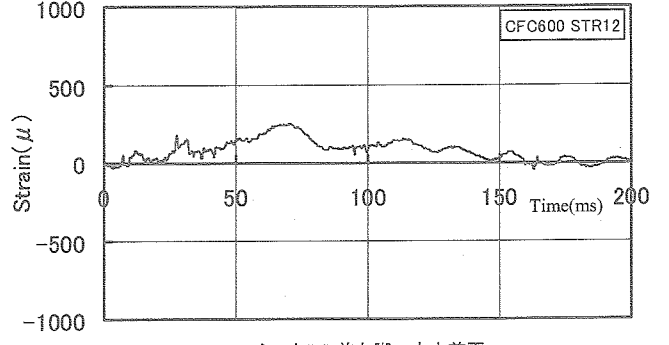
シート#1L後右脚-中央前面



シート#1R前左脚-中央前面



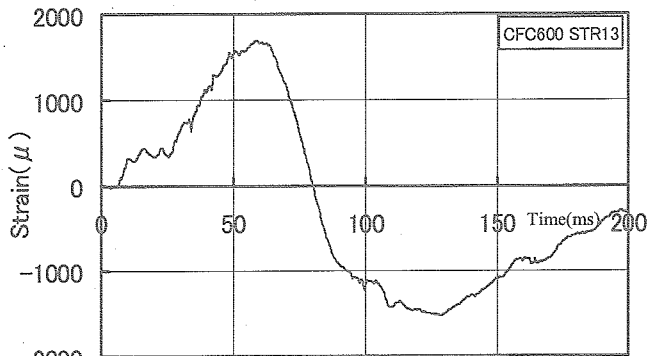
シート#1L後脚チューブ中央-下面



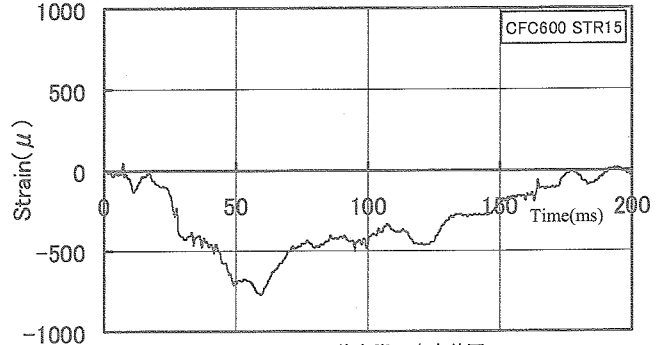
シート#1R前右脚-中央前面

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -5/30

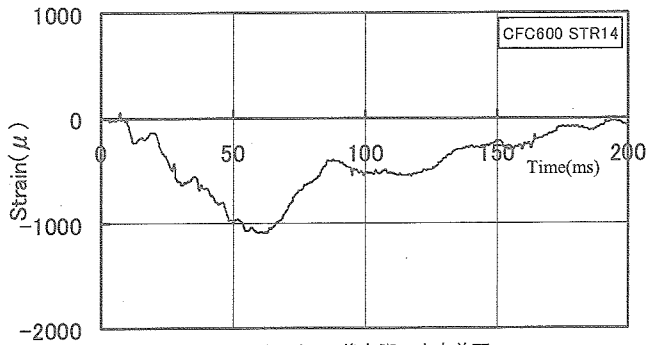
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -6/30



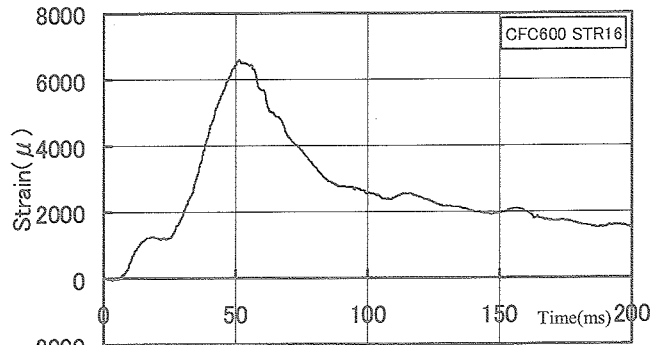
シート#1R前脚チューブ中央-下面



シート#1R後右脚-中央前面



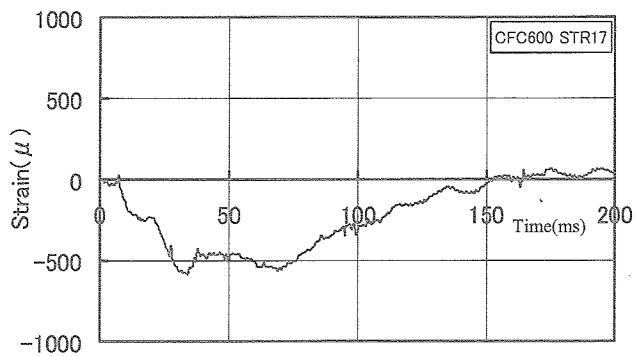
シート#1R後左脚-中央前面



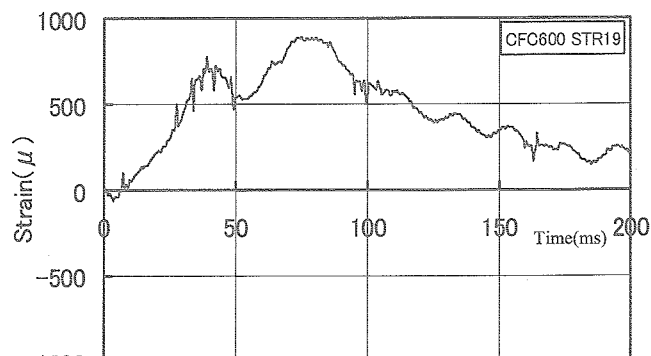
シート#1R後脚チューブ中央-下面

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -7/30

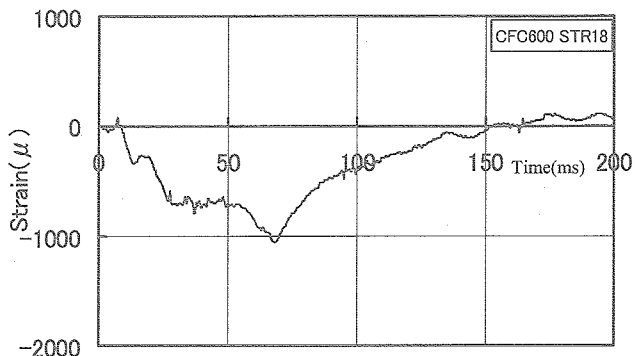
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -8/30



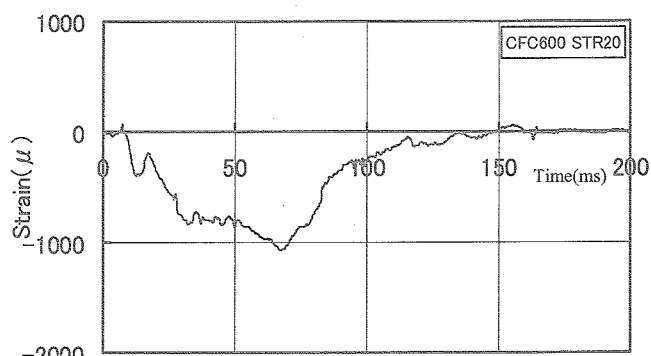
シート#2L前左脚-中央前面



シート#2L後脚チューブ中央-下面



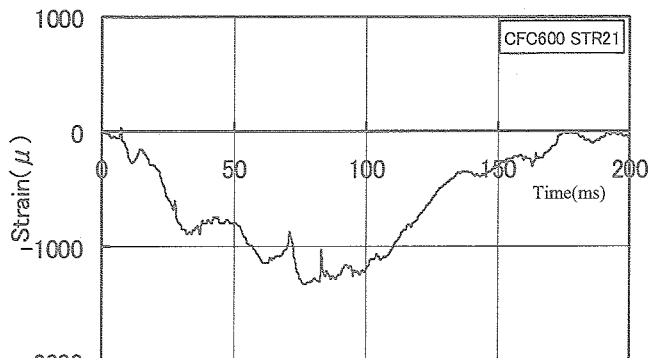
シート#2L前右脚-中央前面



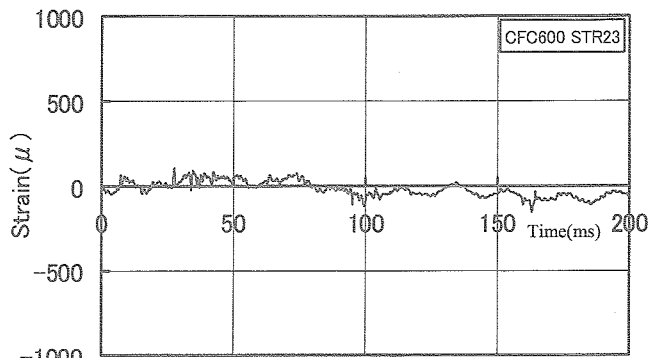
シート#2L後左脚-中央前面

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -9/30

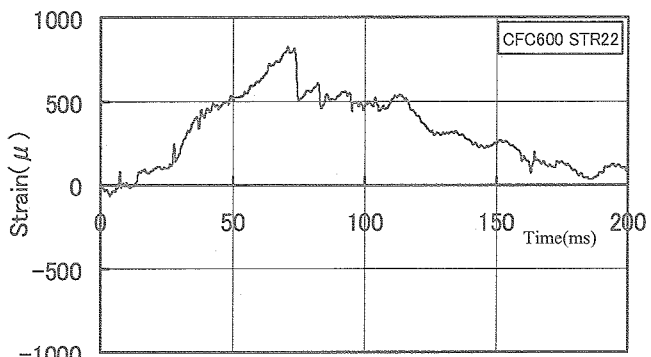
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -10/30



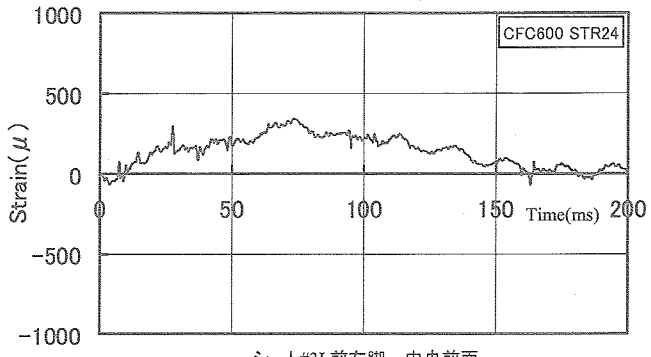
シート#2L後右脚-中央前面



シート#3L前左脚-中央前面



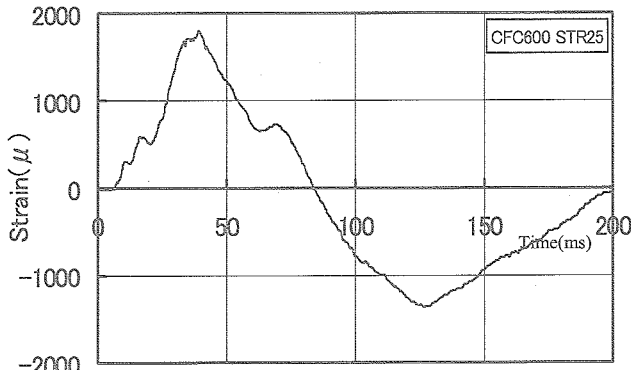
シート#2L後脚チューブ中央-下面



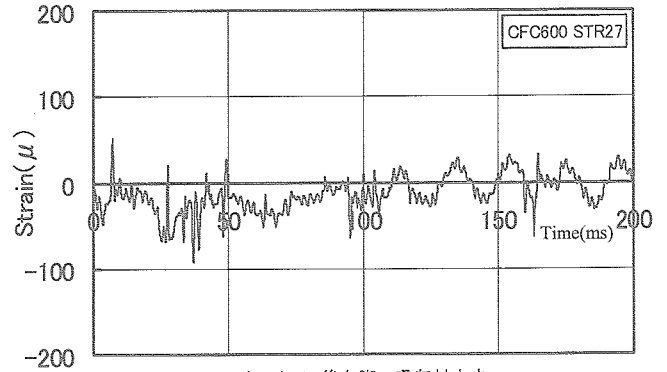
シート#3L前右脚-中央前面

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -11/30

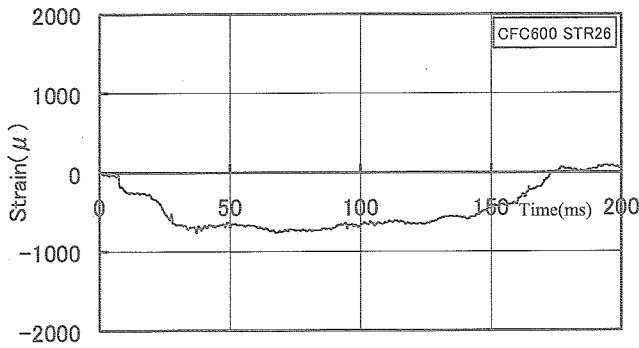
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -12/30



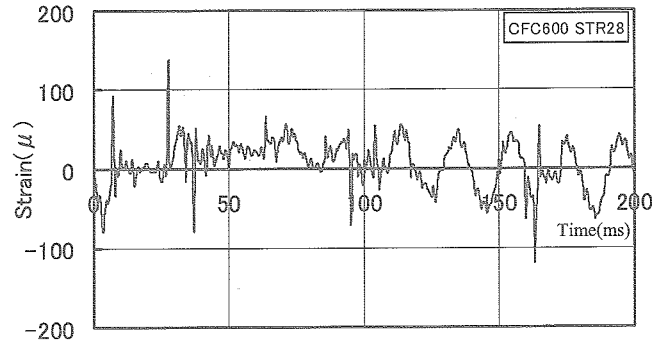
シート#3L前脚チューブ中央-下面



シート#3L後左脚-吸収材中央



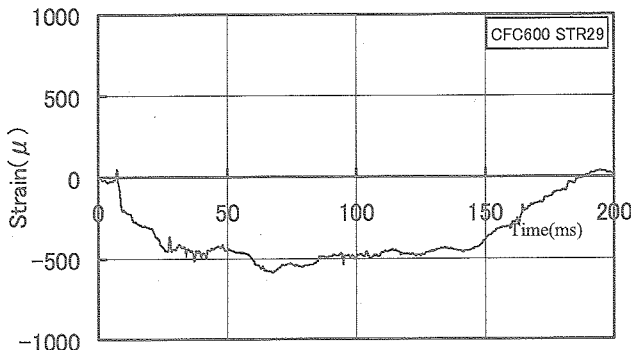
シート#3L後左脚-吸収材上端



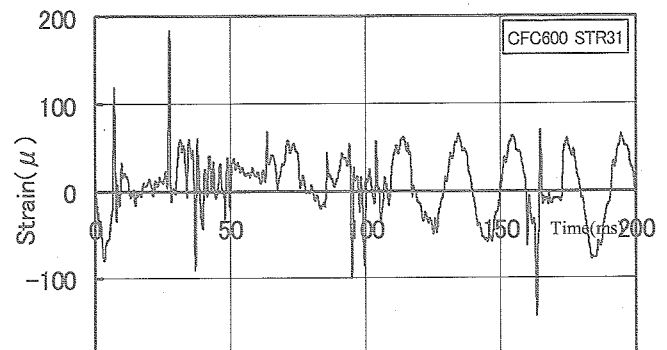
シート#3L後左脚-吸収材下端

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -13/30

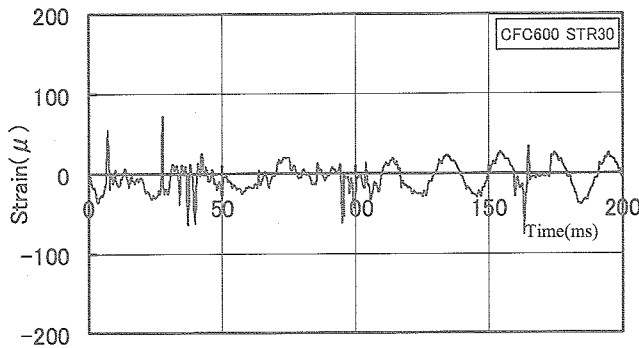
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -14/30



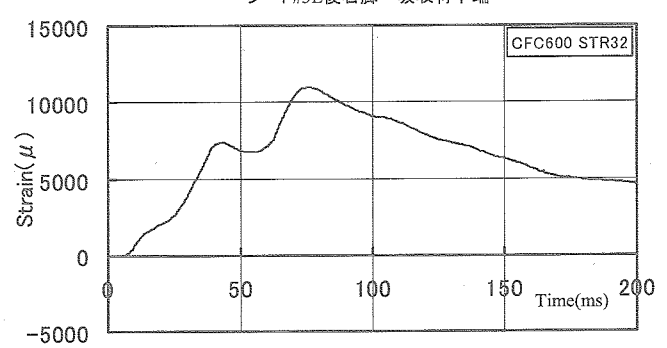
シート#3L後右脚-吸収材上端



シート#3L後右脚-吸収材下端



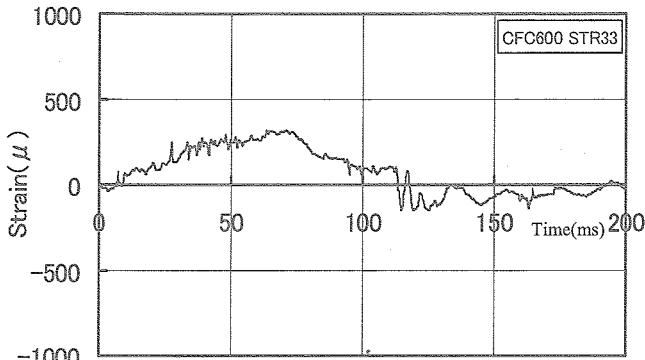
シート#3L後右脚-吸収材中央



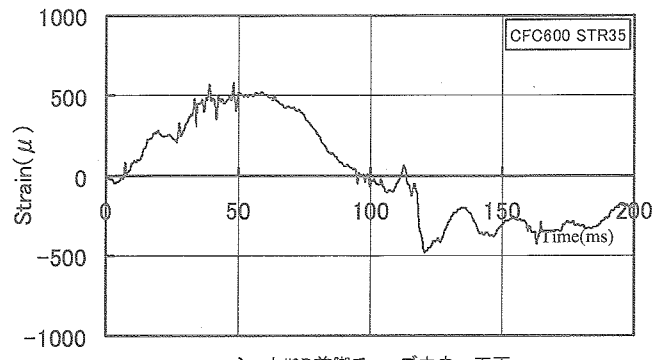
シート#3L後脚チューブ中央-下面

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -15/30

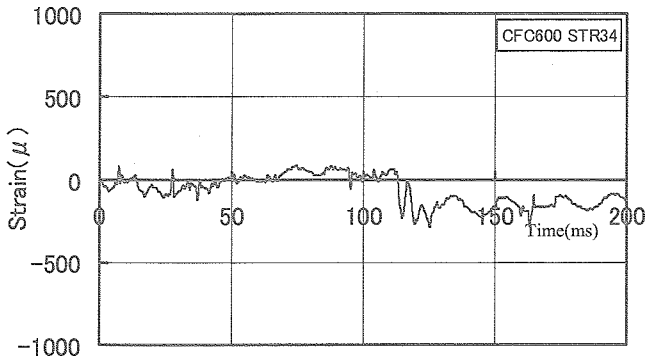
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -16/30



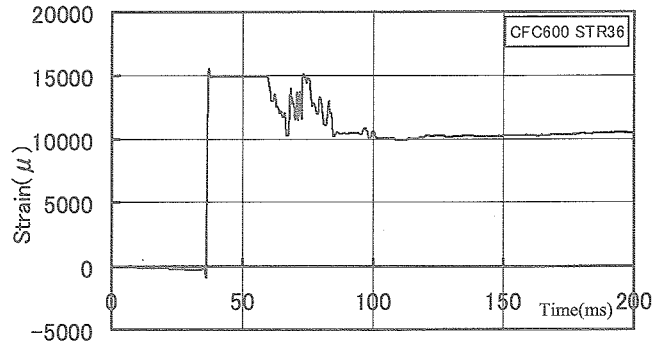
シート#3R前左脚-中央前面



シート#3R前脚チューブ中央-下面



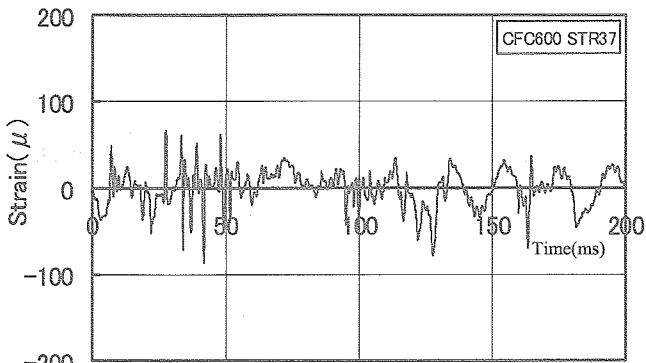
シート#3R前右脚-中央前面



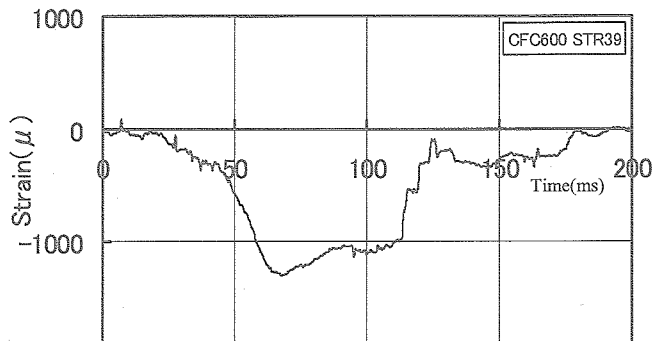
シート#3R後左脚-吸収材上端

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -17/30

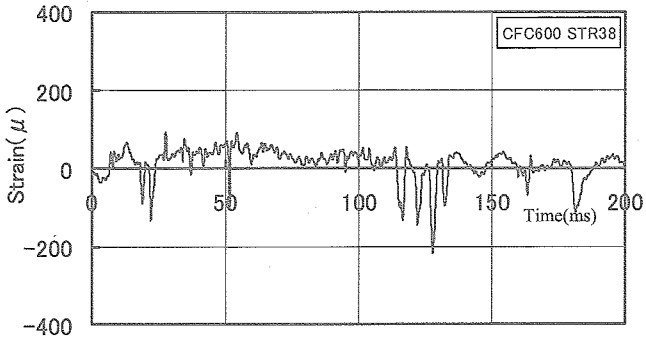
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -18/30



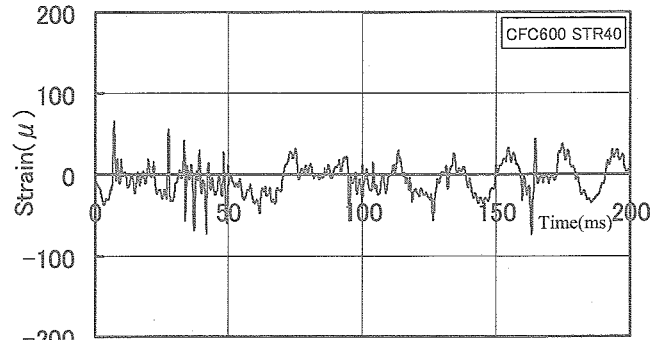
シート#3R後左脚-吸収材中央



シート#3R後右脚-吸収材上端



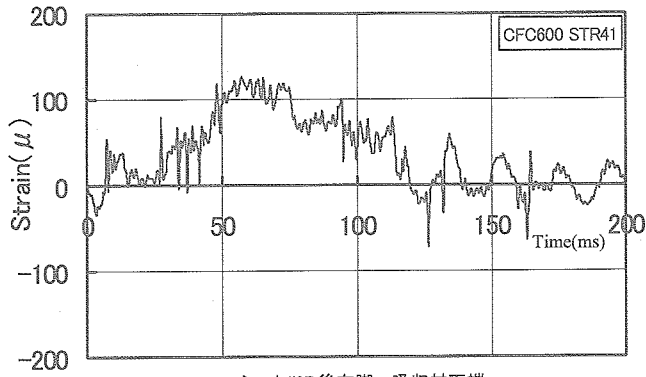
シート#3R後左脚-吸収材下端



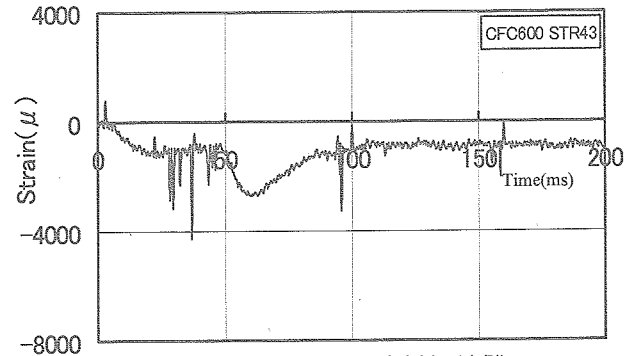
シート#3R後右脚-吸収材中央

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -19/30

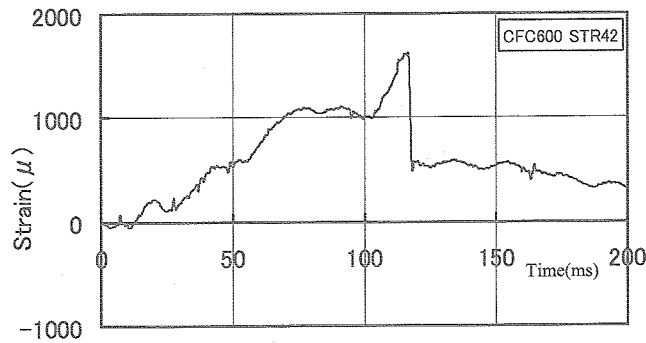
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -20/30



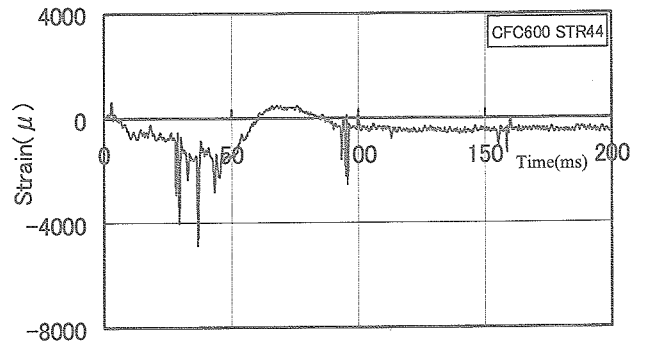
シート#3R後右脚-吸収材下端



FSTA-7758左ストラット中央側面(窓側)



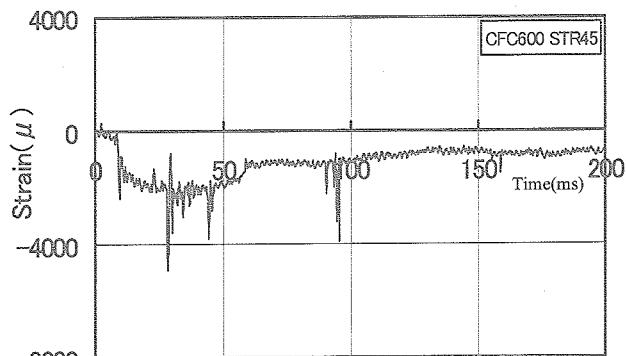
シート#3R後脚チューブ中央-下面



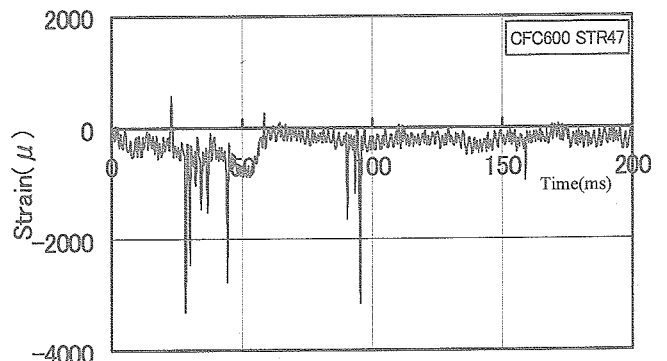
FSTA-7758右ストラット中央側面(窓側)

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -21/30

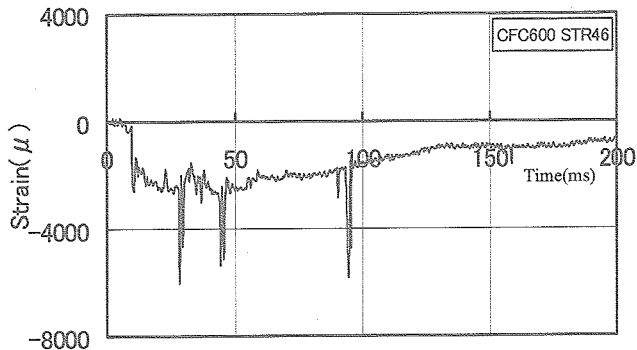
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -22/30



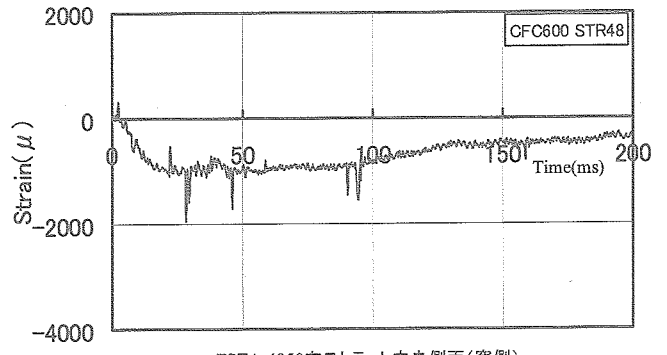
FSTA-6390左ストラット中央側面(窓側)



FSTA-5430右ストラット中央側面(窓側)



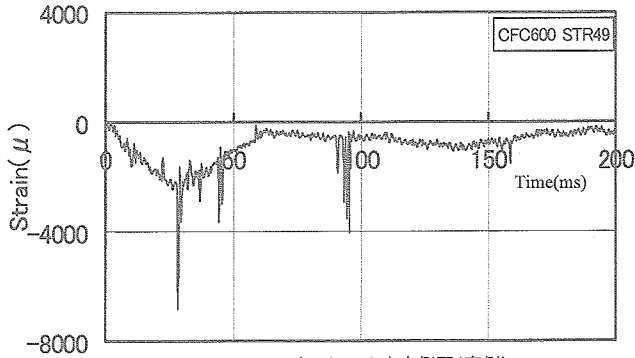
FSTA-5430左ストラット中央側面(窓側)



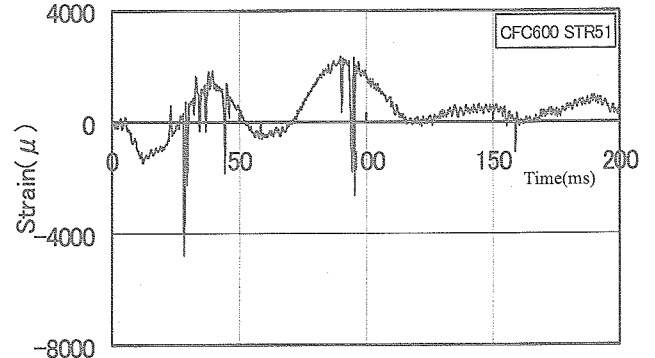
FSTA-4950左ストラット中央側面(窓側)

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -23/30

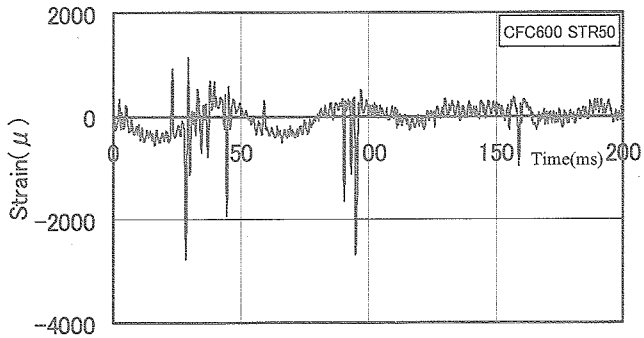
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -24/30



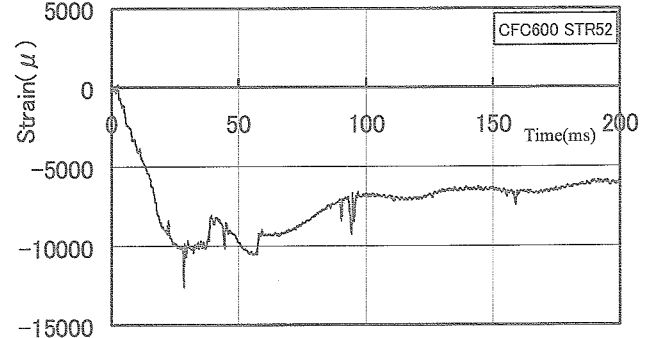
FSTA-4950右ストラット中央側面(窓側)



FSTA-4950左上側面一外側



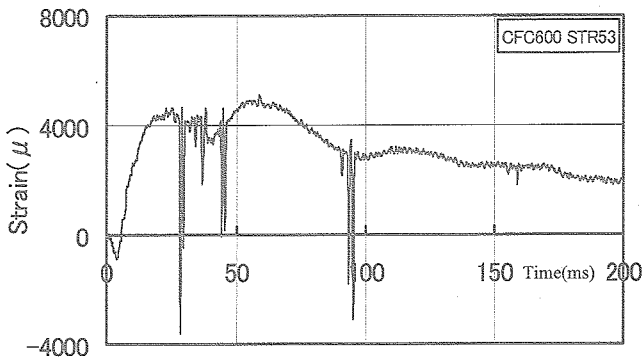
FSTA-4950最頂部一外面



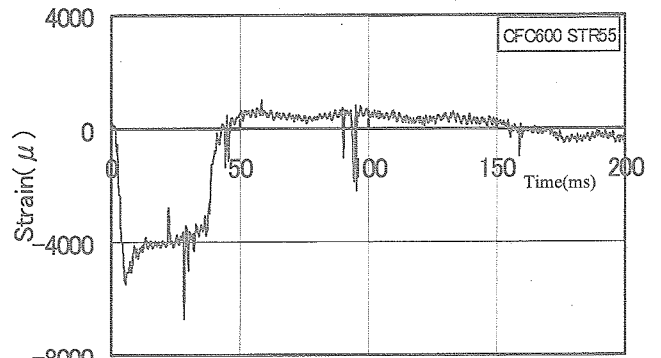
FSTA-4950左床接続部一外側

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -25/30

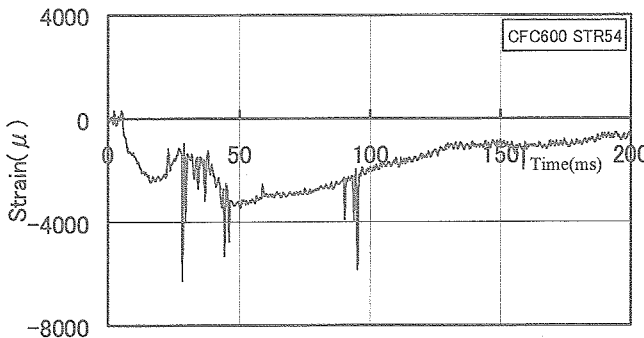
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -26/30



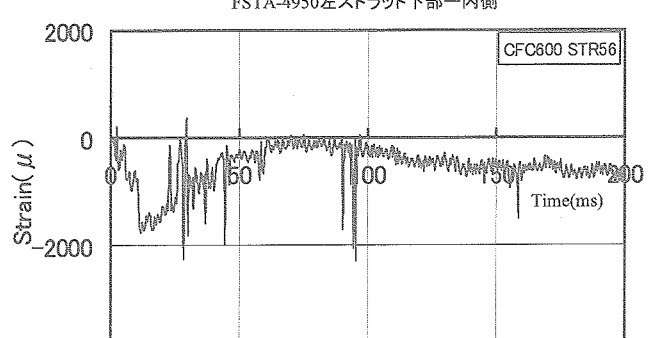
FSTA-4950左床接続部一内側



FSTA-4950左ストラット下部一内側



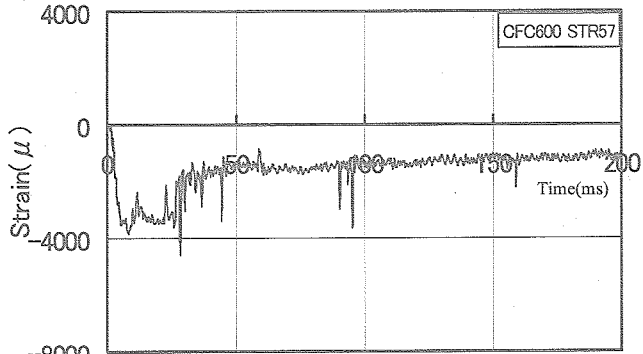
FSTA-4950左ストラット下部一外側



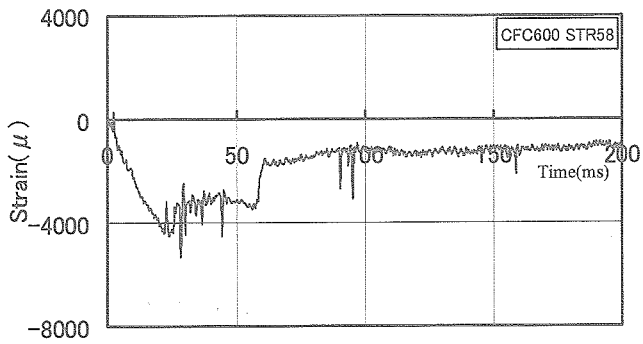
FSTA-4950右ストラット下部一外側

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -27/30

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -28/30

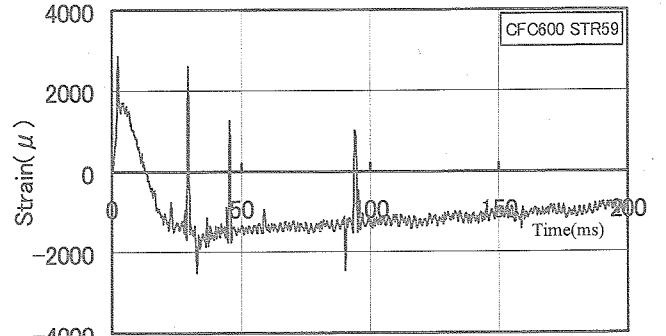


FSTA-4950右ストラット下部一内側

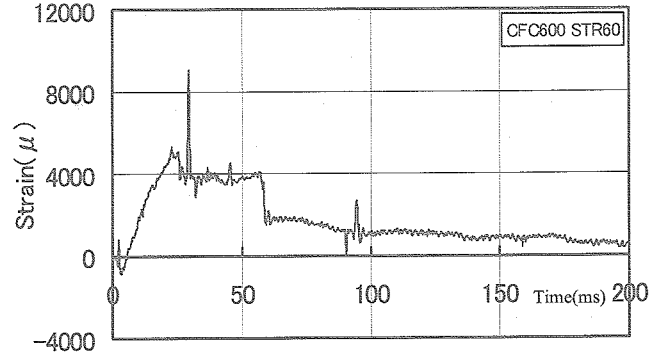


FSTA-4950左床接続部一外側

付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -29/30

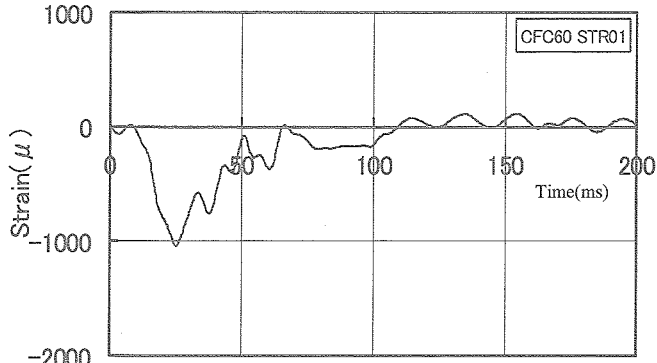


FSTA-4950左床接続部一内側

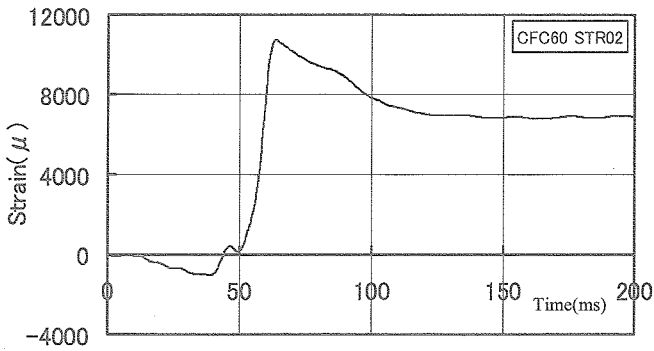


FSTA-4950最底部一内側

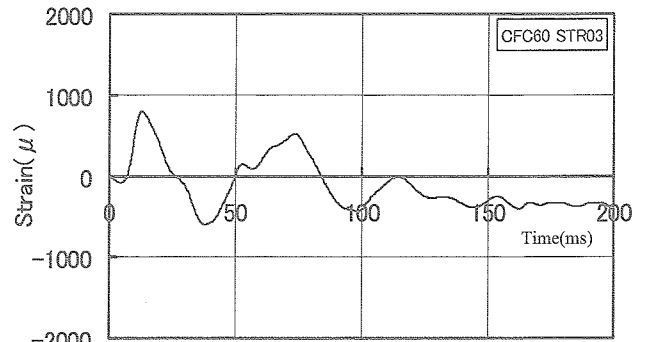
付録3 CFC600処理のひずみ時刻歴応答 -30/30



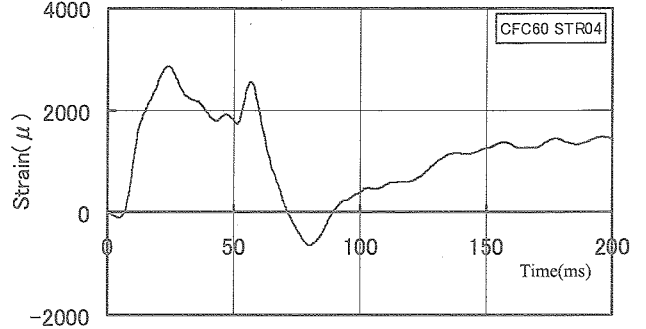
FSTA-8080左ストラット-中央側面(窓側)



FSTA-8080右ストラット-中央側面(窓側)



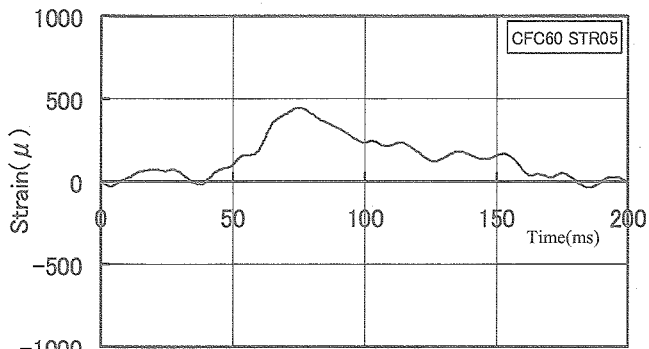
FSTA-8080床ビーム中央-上面



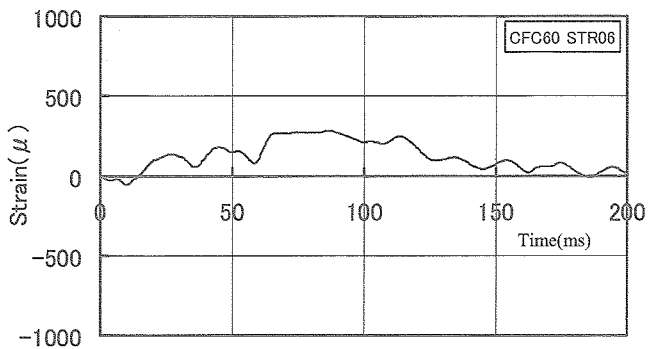
FSTA-8080床ビーム中央-下面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -2/30

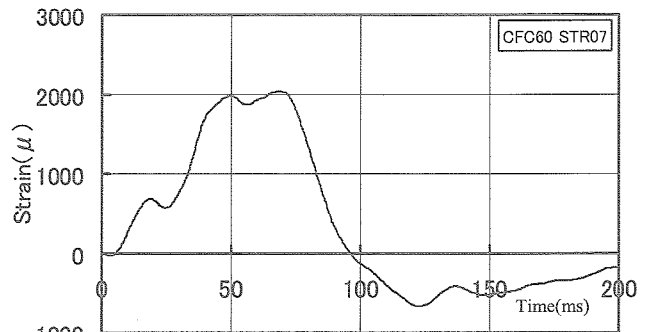
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -1/30



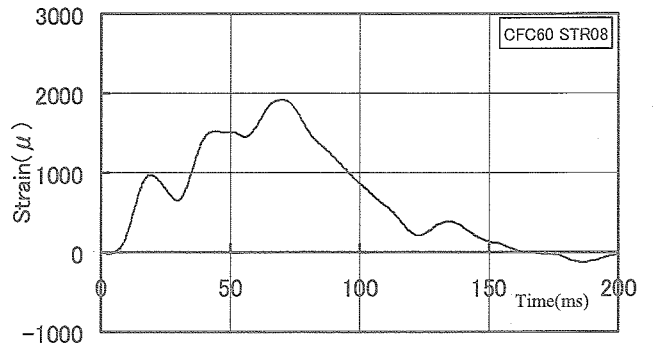
シート#1L前左脚-中央前面



シート#1L前右脚-中央前面



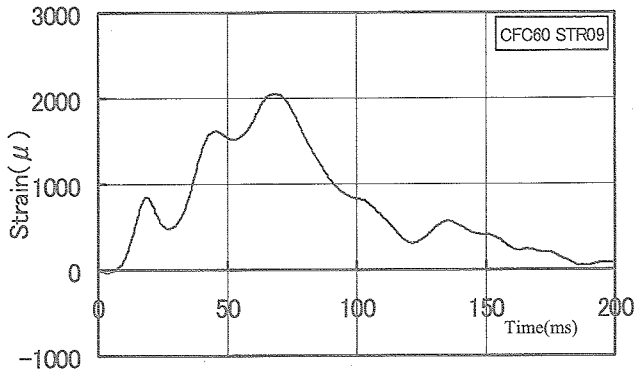
シート#1L前脚チューブ中央-下面



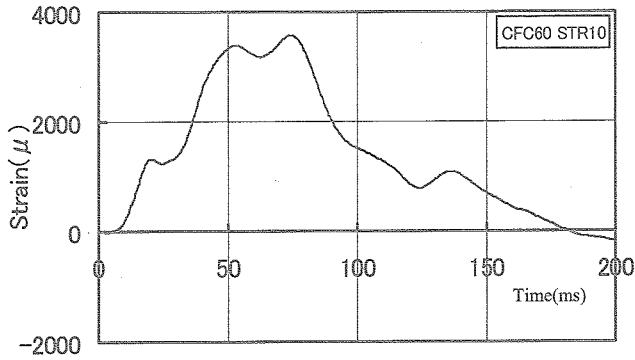
シート#1L後左脚-中央前面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -3/30

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -4/30

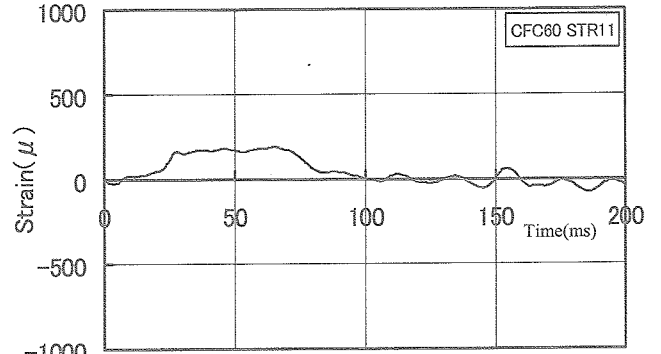


シート#1L後右脚-中央前面

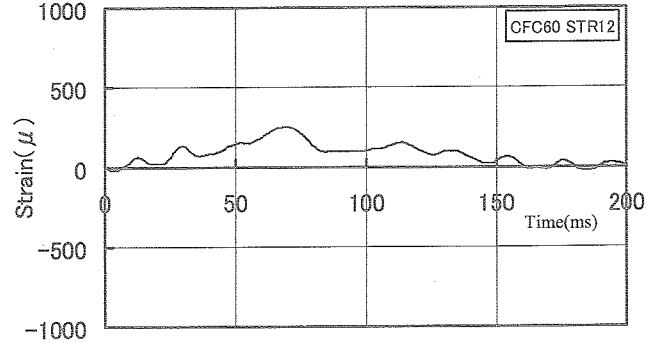


シート#1L後脚チューブ中央-下面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -5/30

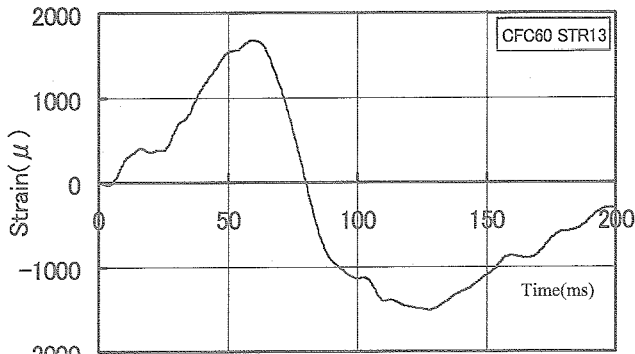


シート#1R前左脚-中央前面

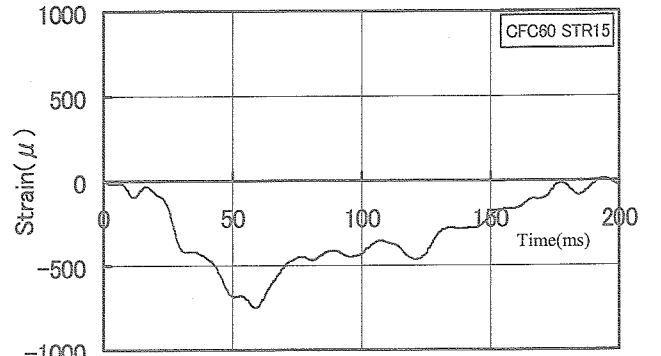


シート#1R前右脚-中央前面

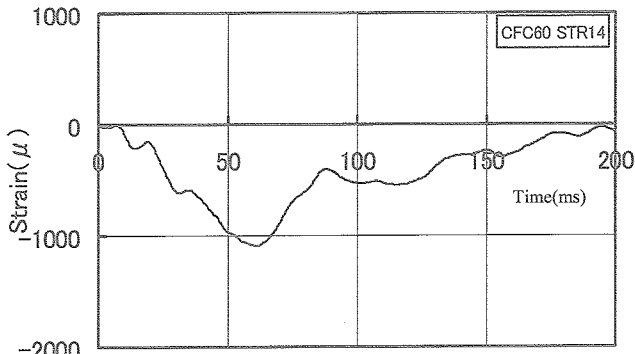
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -6/30



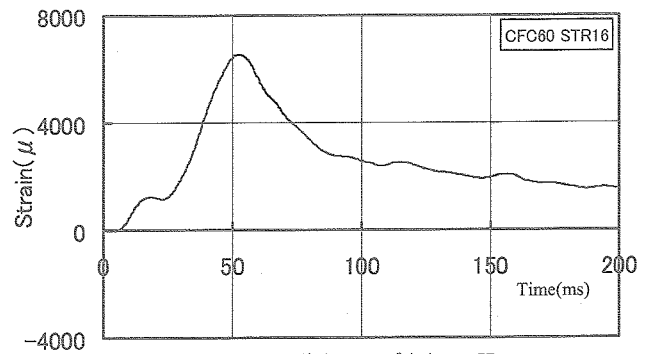
シート#1R前脚チューブ中央-下面



シート#1R後右脚-中央前面



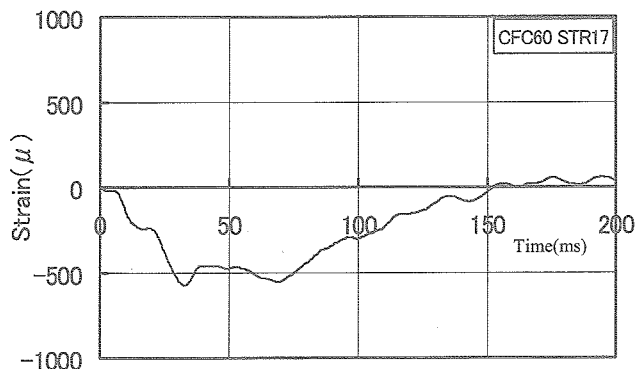
シート#1R後左脚-中央前面



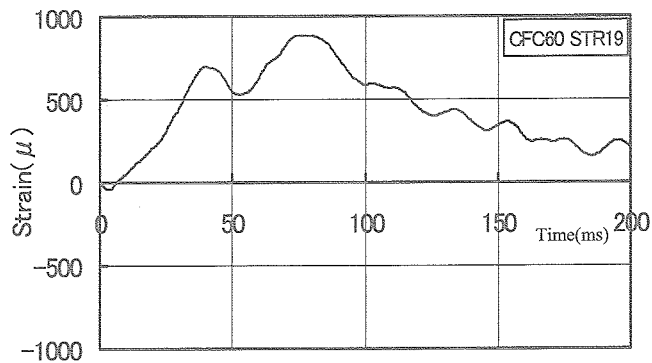
シート#1R後脚チューブ中央-下面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -8/30

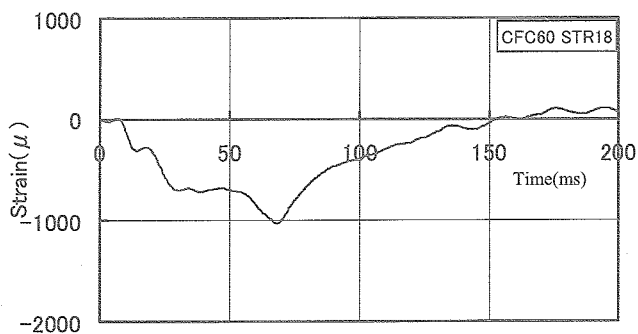
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -7/30



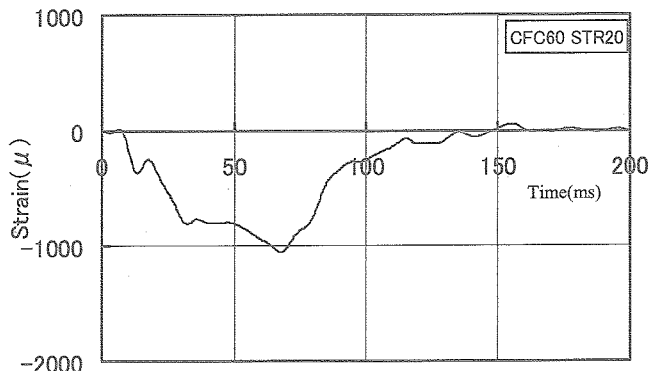
シート#2L前左脚-中央前面



シート#2L後脚チューブ中央-下面



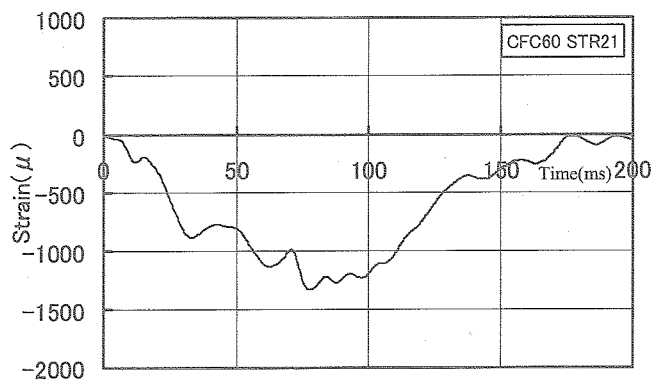
シート#2L前右脚-中央前面



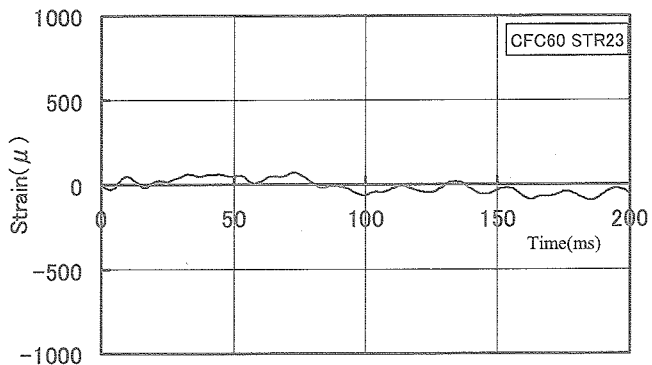
シート#2L後左脚-中央前面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -9/30

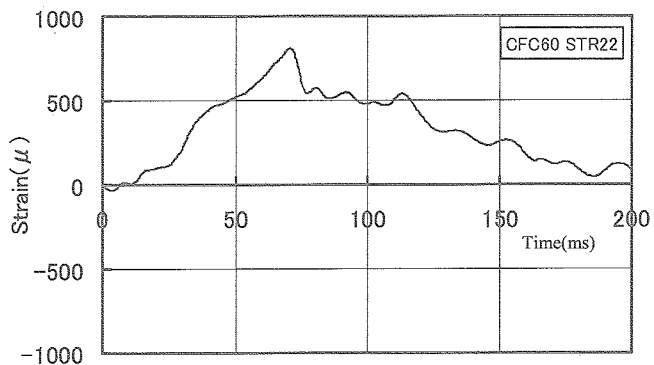
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -10/30



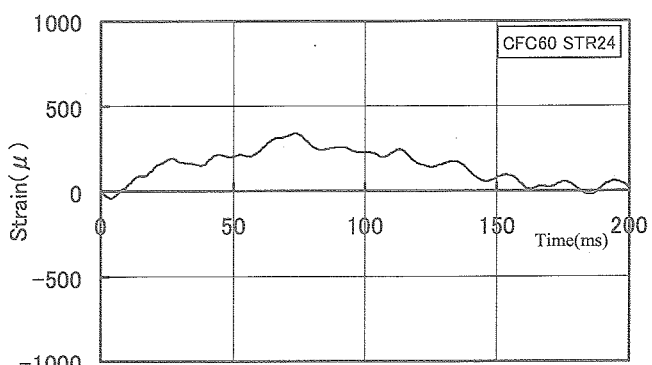
シート#2L後右脚-中央前面



シート#3L前左脚-中央前面



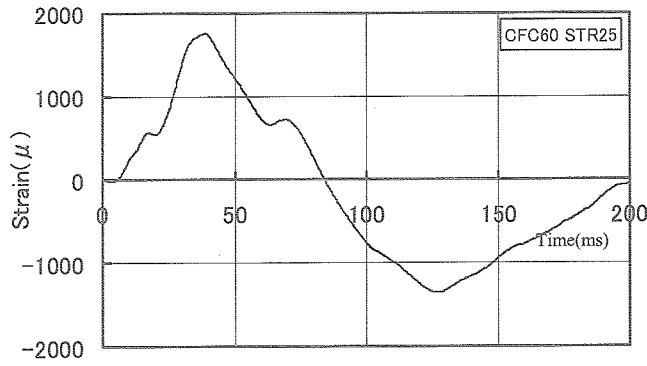
シート#2L後脚チューブ中央-下面



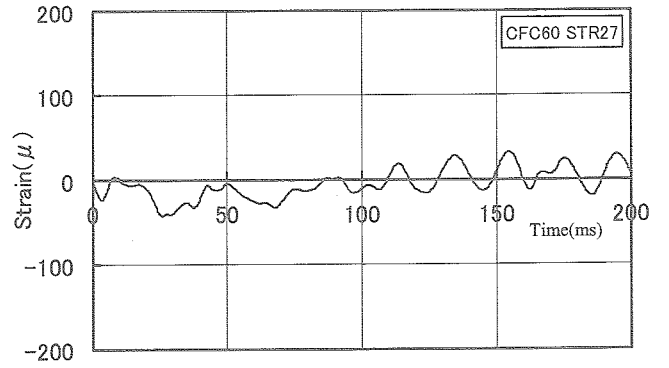
シート#3L前右脚-中央前面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -11/30

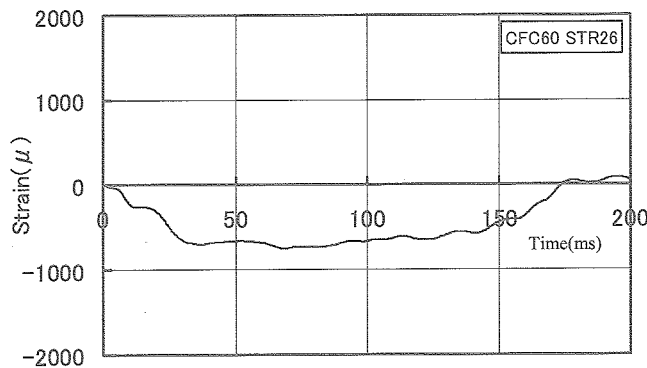
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -12/30



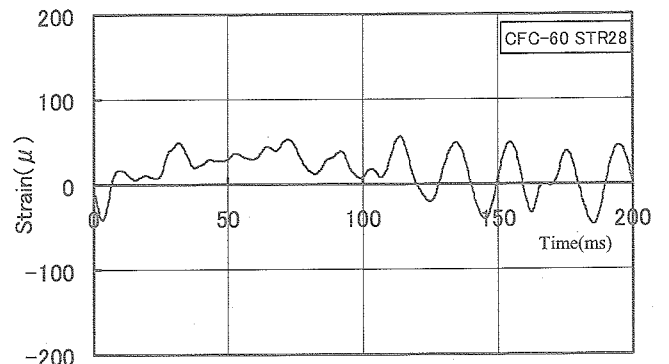
シート#3L前脚チューブ中央-下面



シート#3L後左脚-吸収材中央



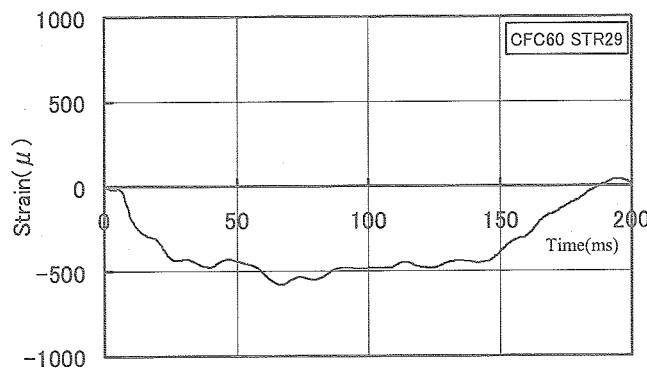
シート#3L後左脚-吸収材上端



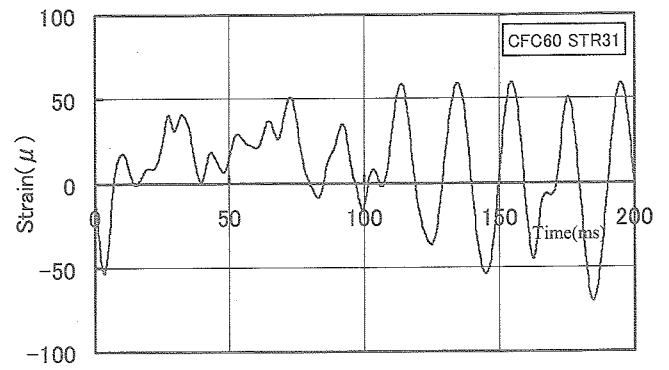
シート#3L後左脚-吸収材下端

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -13/30

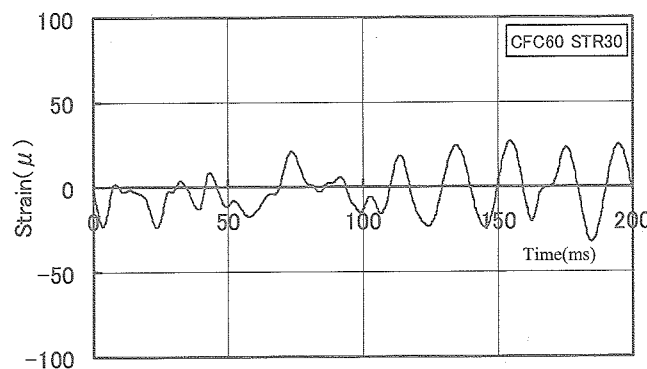
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -14/30



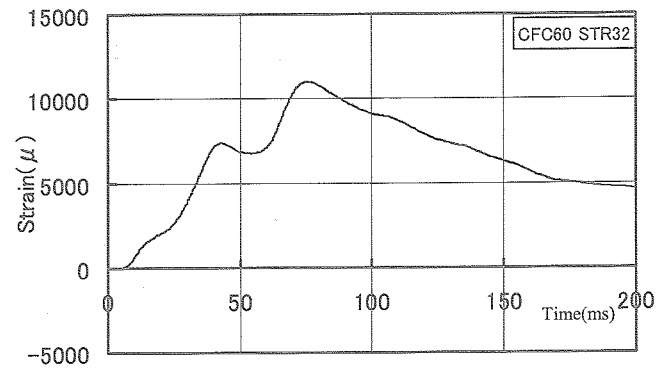
シート#3L後右脚-吸収材上端



シート#3L後右脚-吸収材下端



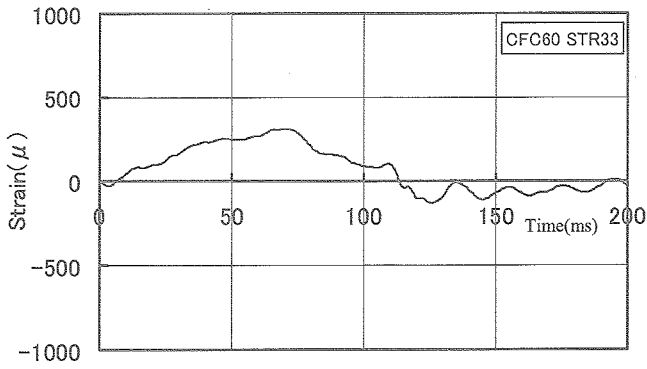
シート#3L後右脚-吸収材中央



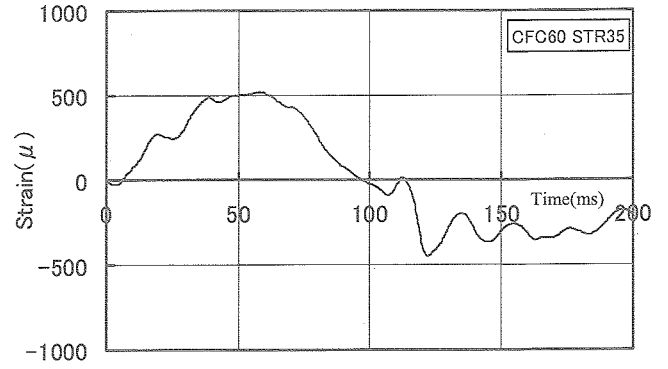
シート#3L後脚チューブ中央-下面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -15/30

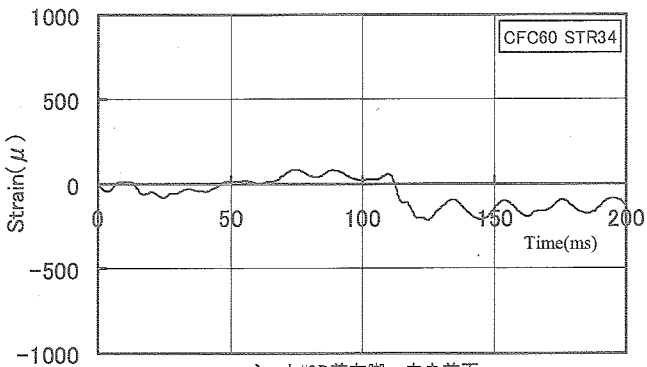
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -16/30



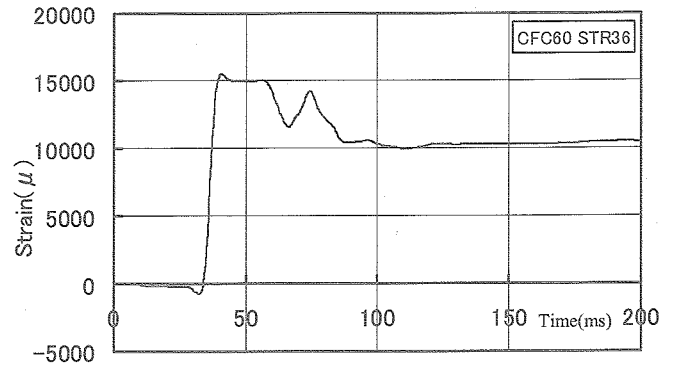
シート#3R前左脚-中央前面



シート#3R前脚チューブ中央-下面



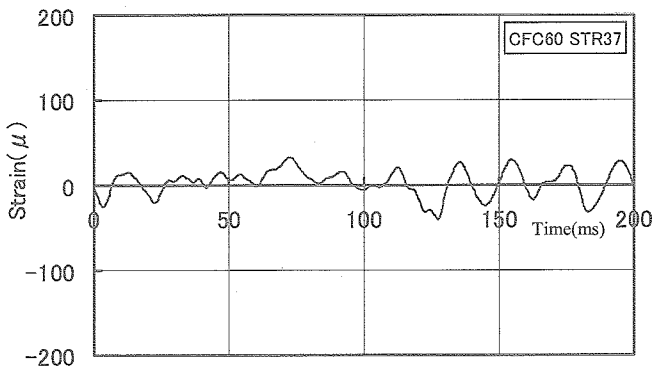
シート#3R前右脚-中央前面



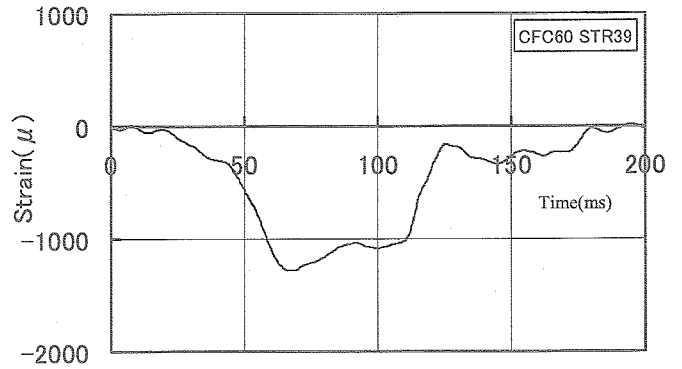
シート#3R後左脚-吸収材上端

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -17/30

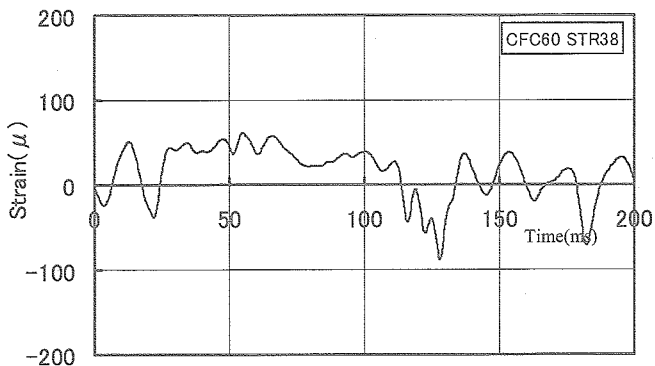
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -18/30



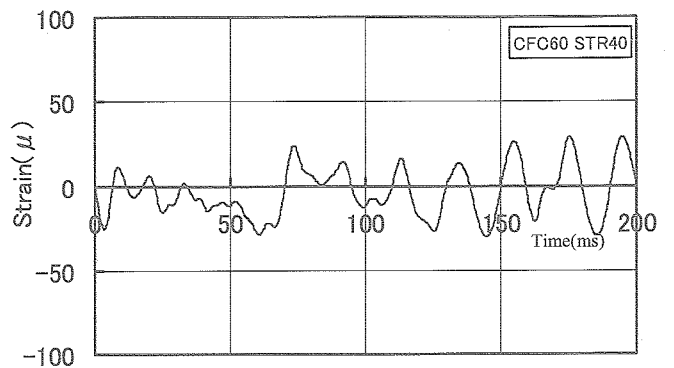
シート#3R後左脚-吸収材中央



シート#3R後右脚-吸収材上端



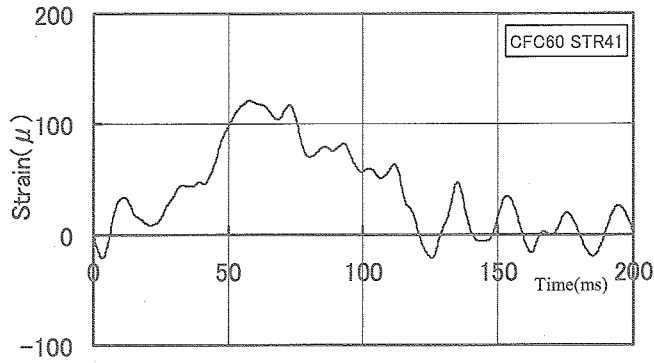
シート#3R後左脚-吸収材下端



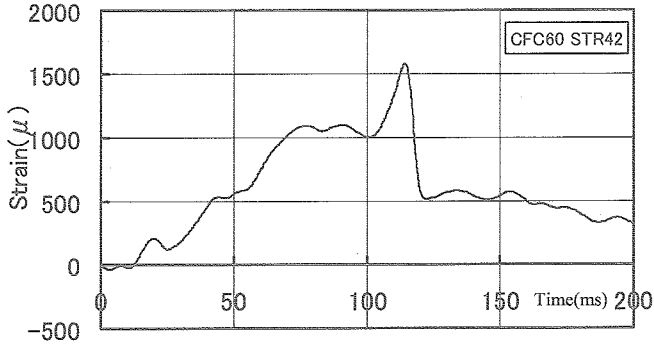
シート#3R後右脚-吸収材中央

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -19/30

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -20/30

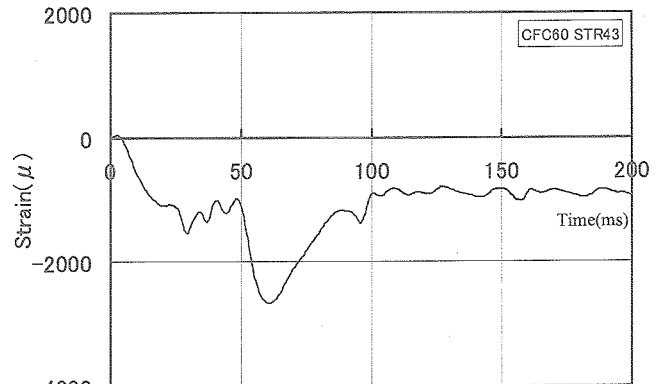


シート#3R後脚右脚-吸収材下端

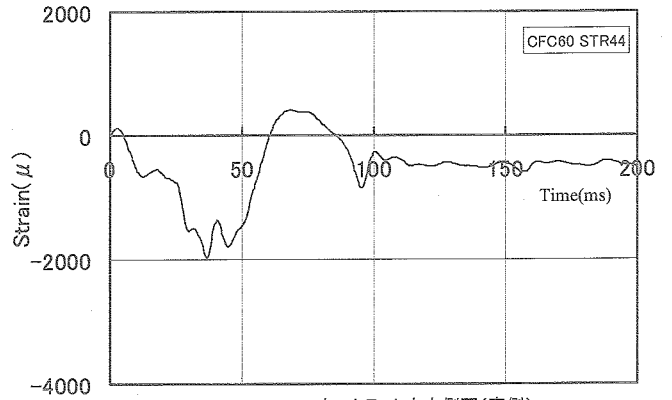


シート#3R後脚チューブ中央-下面

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -21/30

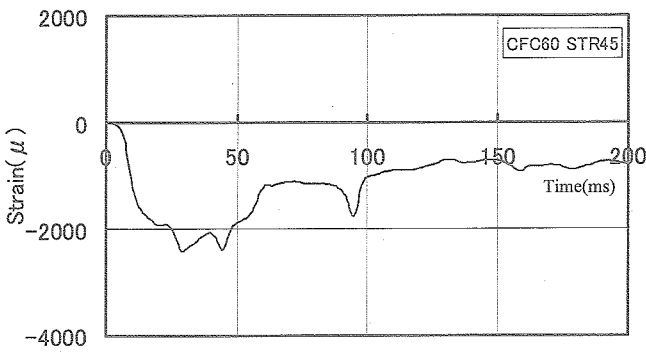


FSTA-7758左ストラット中央側面(窓側)

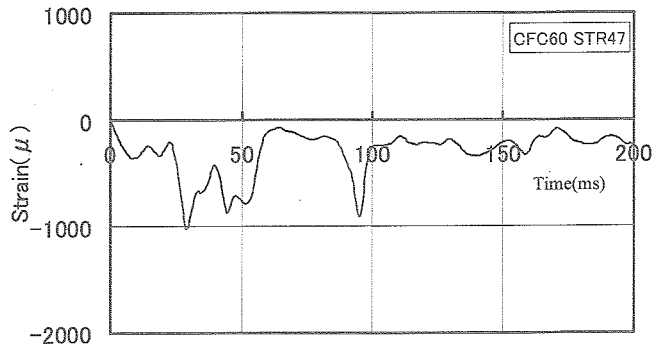


FSTA-7758右ストラット中央側面(窓側)

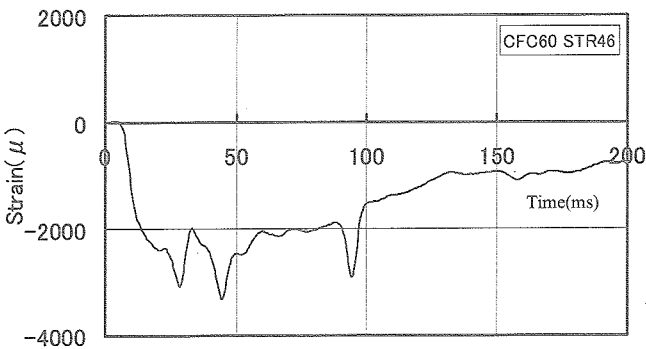
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -22/30



FSTA-6390左ストラット中央側面(窓側)

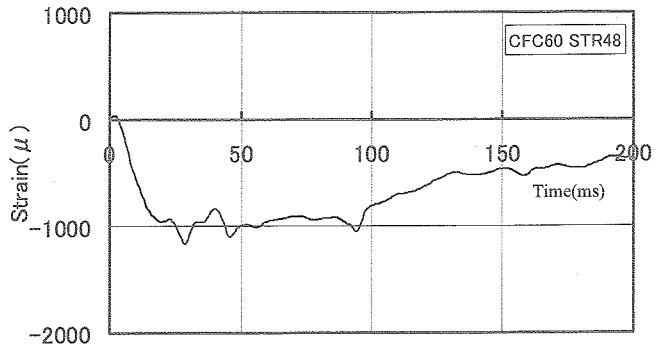


FSTA-5430右ストラット中央側面(窓側)



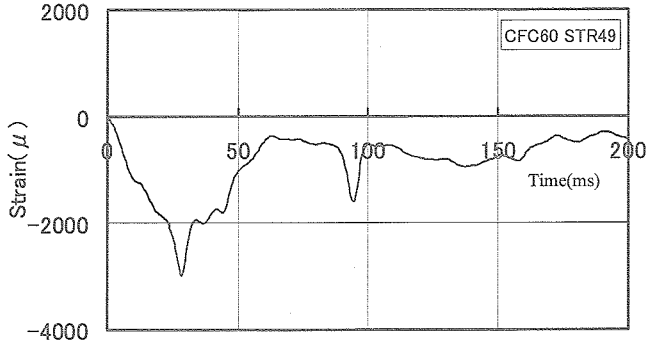
FSTA-5430左ストラット中央側面(窓側)

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -23/30

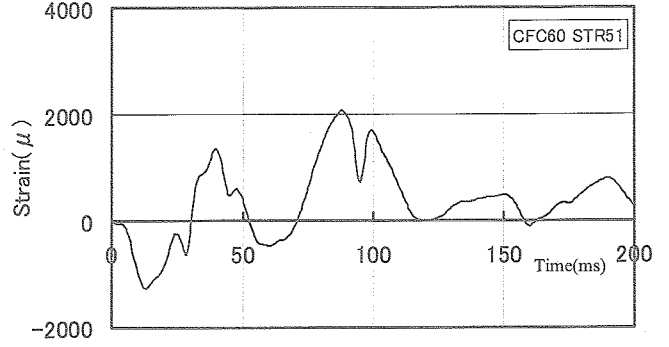


FSTA-4950左ストラット中央側面(窓側)

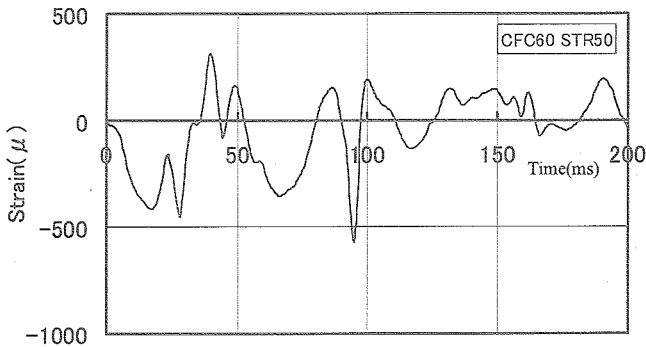
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -24/30



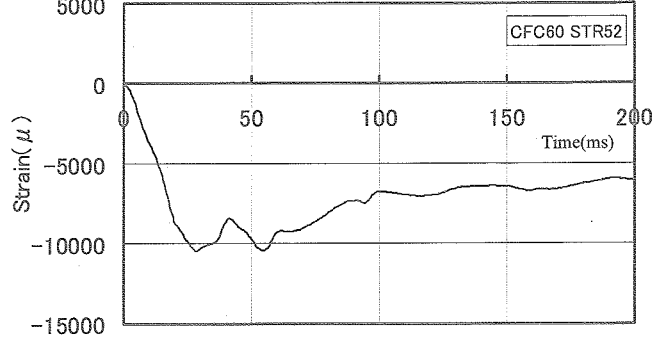
FSTA-4950右ストラット中央側面(窓側)



FSTA-4950左上側面-外側



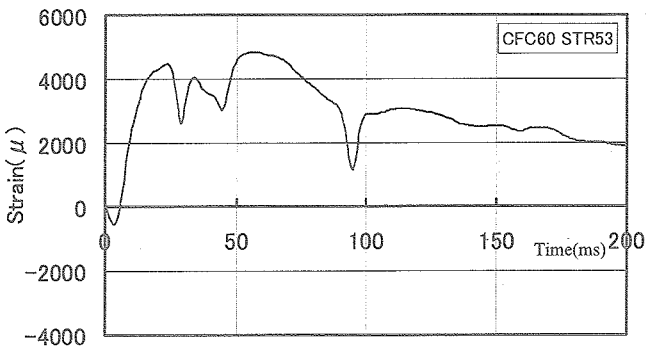
FSTA-4950最頂部-外面



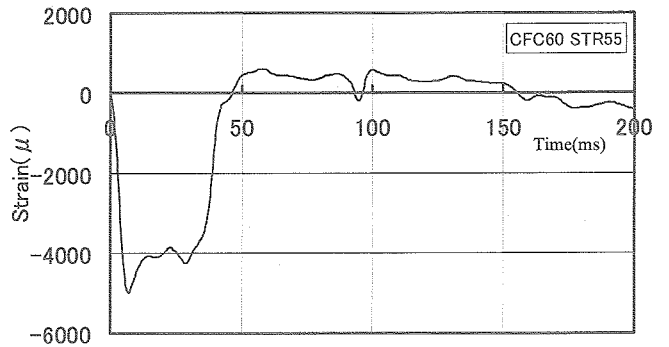
FSTA-4950左床接続部-外側

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -25/30

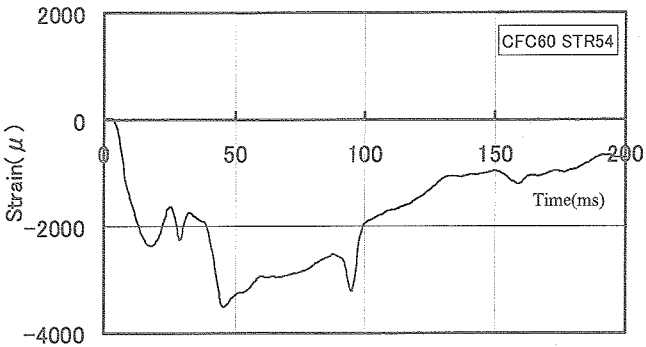
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -26/30



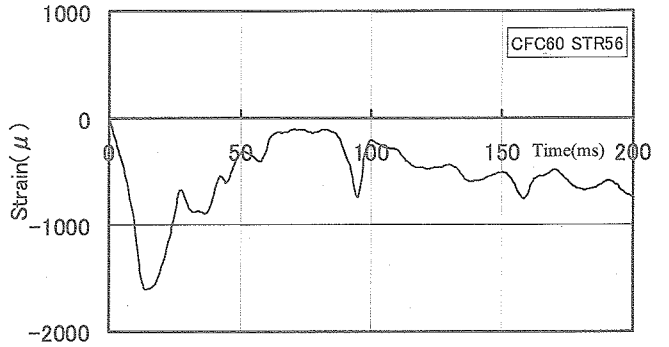
FSTA-4950左床接続部-内側



FSTA-4950左ストラット下部-内側



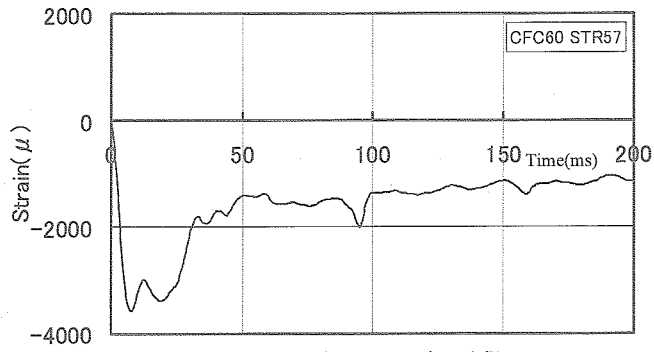
FSTA-4950左ストラット下部-外側



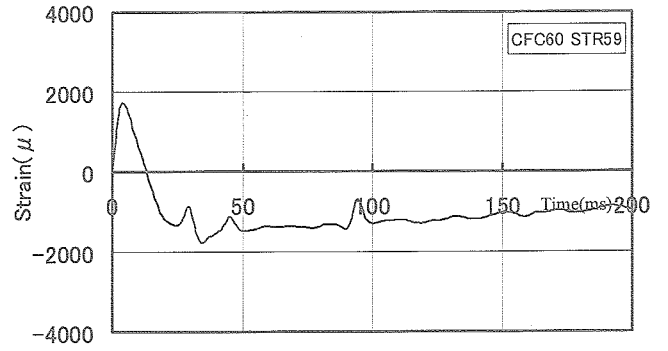
FSTA-4950右ストラット下部-外側

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -27/30

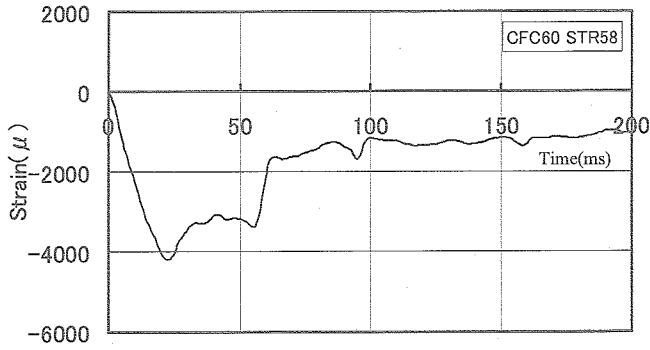
付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -28/30



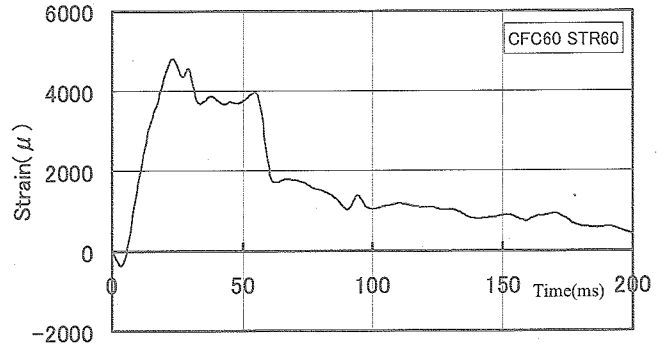
FSTA-4950右ストラット下部一内側



FSTA-4950左床接続部一内側



FSTA-4950左床接続部一外側



FSTA-4950最底部一内側

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -29/30

付録4 CFC60処理のひずみ時刻歴応答 -30/30

宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-03-010

発行日 2004年3月25日
編集・発行 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
〒182-8522
東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1
TEL 0422-40-3000 (代表)
印刷所 株式会社 ビー・シー・シー・
東京都港区浜松町2-4-1

©2004 JAXA

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。

※本書(誌)からの複写、転載等を希望される場合は、下記にご連絡ください。

※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

<本資料に関するお問い合わせ先>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報化推進部 宇宙航空文献資料センター



宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

