

[平成 18 年度消防防災科学技術研究推進制度]

救急ヘリ搬送の母体胎児及び重度外傷患者に与える影響の研究  
— ヘリ搬送における振動の母体胎児への侵襲性について —

報 告 書

2007 年 3 月

特定非営利活動法人  
救急ヘリ病院ネットワーク (HEM - Net)

## 救急ヘリ搬送の母体胎児及び重度外傷患者に対する影響の研究

—ヘリ搬送における振動の母体胎児への侵襲性について—

亀田総合病院 腎臓高血圧内科 小原まみ子、関根広介  
総合母子周産期センター 鈴木真

### 「背景と目的」

出産年齢の高齢化に伴うハイリスク妊娠が増加しているが、産婦人科医および小児科医は不足している。分娩施設は年々減少し、総合周産期母子医療センター等の高度周産期医療施設の設置は進んでいない。さらに、母体・胎児に緊急治療を必要とする重症合併症が発生した場合、児の治療とともに母体の合併症に対する専門的治療を速やかに開始しなければならないが、高度周産期医療施設は不足しており、受入可能施設は遠隔地に位置していることが多い。

母体搬送は、現状では救急車搬送が多くを担っている。緊急治療の受け入れ施設が県外など遠隔地にあるような場合は搬送が長時間となり、母児のリスクが増大する。一方、ヘリでは100kmを約30分で搬送できることから大幅に搬送時間を短縮することが可能である。

しかし、医療従事者においても母体ヘリ搬送の認識が低く、その運用数は少ない。また、ヘリ搬送による母体や胎児への影響については医学的なデータがない状況である。このため、ヘリで搬送されることは非常に少なく、多くは遠方の搬送先であっても救急車で、数時間かけてリスクを伴いながら母体が搬送されているのが現状である。

母児双方にとって安全・安心な医療体制構築のために、ヘリ搬送を組み込んだ母体搬送システムは必須で、緊急ヘリ搬送が安全かつ効率的に運用できるシステムを確立することが早急に求められている。本研究では、周産期医療に関わる医師など医療従事者、ヘリ運航会社関係者、航空医学の振動専門家等と共同研究を行い、ヘリ搬送時特有の環境となる振動・気圧・騒音の因子のうち、特に、最も母体胎児に影響を及ぼす可能性がある振動について、その侵襲性の調査解析方法を検討確立し、ヘリコプターを用いた安全な母体搬送システムの整備を図る。

### 「方法」

#### 1. ヘリ搬送時における振動測定方法の確立について

ヘリコプター飛行時の振動の測定は、ヘリコプターの機材としての耐久性・安全性を調査するために測定されたものはあるが、搭乗する人体への影響を検討するために測定されたものはほとんどなく測定方法は確立されておらず、新たにヘリコプターの振動測定システムを検討する必要がある。

地震に対する建物の振動調査および免震構造の研究部門を持つ鹿島建設株式会社、自動車の乗り心地を検討課題とし救急車開発部門を持つトヨタ自動車株式会社、ヘリ運航会社である朝日航洋、救急ヘリ病院ネットワーク、米国 **Swarthmore College** 工学部工学士である信州大学医学生、および医師、臨床工学技士等医療従事者、さらに防衛庁航空医学実験隊研究者等での多分野横断で連携し、研究会、情報交換を重ね、振動測定システムを確立した。

これらの測定システム検討経過中、航空医学実験隊小野沢昭彦主任研究官等を交えた検討に至り、ヘリの細かい振動には圧電型加速度振動測定システムが適切と考えられ、圧電型加速度トランスデューサ **TEAC-724Z** (3軸)、ケーブル (**CL-4SB**)、専用台座、アンプ (**SA-611**)、ハンディタイプレコーダ (**es8**)、ハンディキャリブレータ (**CA-10**) の組み合わせによる測定システムが、有力候補となった。しかし、現場での操作性、迅速性、ピックアップ部分が搬送ベッドになじみ影響を与えない必要があること、ケーブルなど接続経路の煩雑さなどから、システムの組み立てとしてはより改良されたものが必要であると考えられ、さらに検討を行った。結果、最終システムとして、データレコーダー **RION-DA-20+円盤形センサーPV-62** の測定系とデータレコーダー **DA-20+VM-54, 3ch** 振動入力プリアンプ **VP-80** の解析系の組み合わせによるシステムが選定された。

## 2. ヘリ搬送時における収集すべき医学データについて

母体の心拍数・血圧、胎児のストレスの指標となる胎児心拍を搬送時モニターする医学データとした。また、ヘリ搬送の振動により子宮収縮が増強する可能性があるため、胎児心拍モニタリングと同時に、母体腹壁からの子宮活動を計測する外圧モニタリングにより子宮収縮の強度、持続時間、周期も指標とするデータとして選定した。飛行時の電波干渉の影響を受けにくくモニター状態を記録保存できる機材を選定する必要があった。

## 3. ヘリ飛行時の振動測定調査

約 20 分間の試験飛行を 4 回行い、ヘリコプター飛行時における振動を計測し経時的に記録、同時に経時的に記録した飛行状態、被験者(健康成人:男性 2、女性 1)の体感症状・バイタル所見と比較した。

測定解析には、前述のように検討を重ねて選定した、以下の機器を用いた。また、飛行時の各種機器の動作状態を確認した。

### 1) 測定機器

1. 振動計：RION(リオン)社 データレコーダー**DA-20+円盤形センサーPV-62**

2. 成人被験者：PHILIPS(フィリップス)社 **M3**

血圧計・心拍数・酸素飽和度(**O2Sat**)モニター

センサーは血圧マンシエットと **O2Sat** センサー

3. 胎児関係：胎児心拍計 **TOITU**(トイツ) 胎児心拍センサーと腹壁外圧センサー

2) 振動解析機器

RION 3軸振動計 VM-54+データレコーダーDA-20

波形処理 DA-20PA1

3) 使用ヘリ

Eurocopter(ユーロコプター) AS350B

搭載量/Useful load : 250kg~450kg

巡航速度/Cruising speed : 180km/h~220km/hr

乗客数/Passenger : 5

航続時間/Endurance : 2.5h~3.0h

エンジン/Engine : 単発/Single

「結果」

1. 振動測定解析

【飛行①】

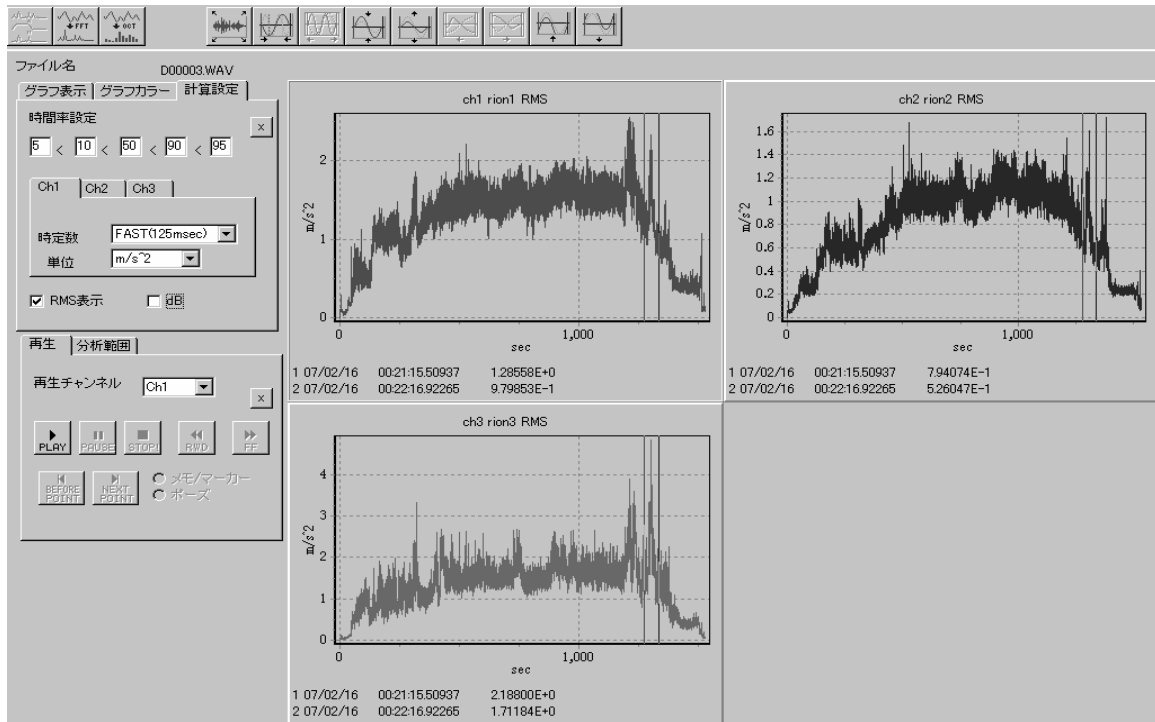
図-1は飛行開始から着陸までの振動の時間的変動を示したグラフである。Ch1は前後に発生した振動(X軸)、ch2は左右に発生した振動(Y軸)、ch3は鉛直方向に発生した振動(Z軸)を表している。

各グラフで随所にピークが見られた。このピークを経時的に飛行記録(表-1)と照らし合わせると、何らかのイベントの起きた時刻と一致していた。搭乗者は、旋回等のイベントが起きたときに多少の不快を感じており、経時記録で比較するとこれらの時刻は一致していた。このピーク部の振動の解析を実施した。

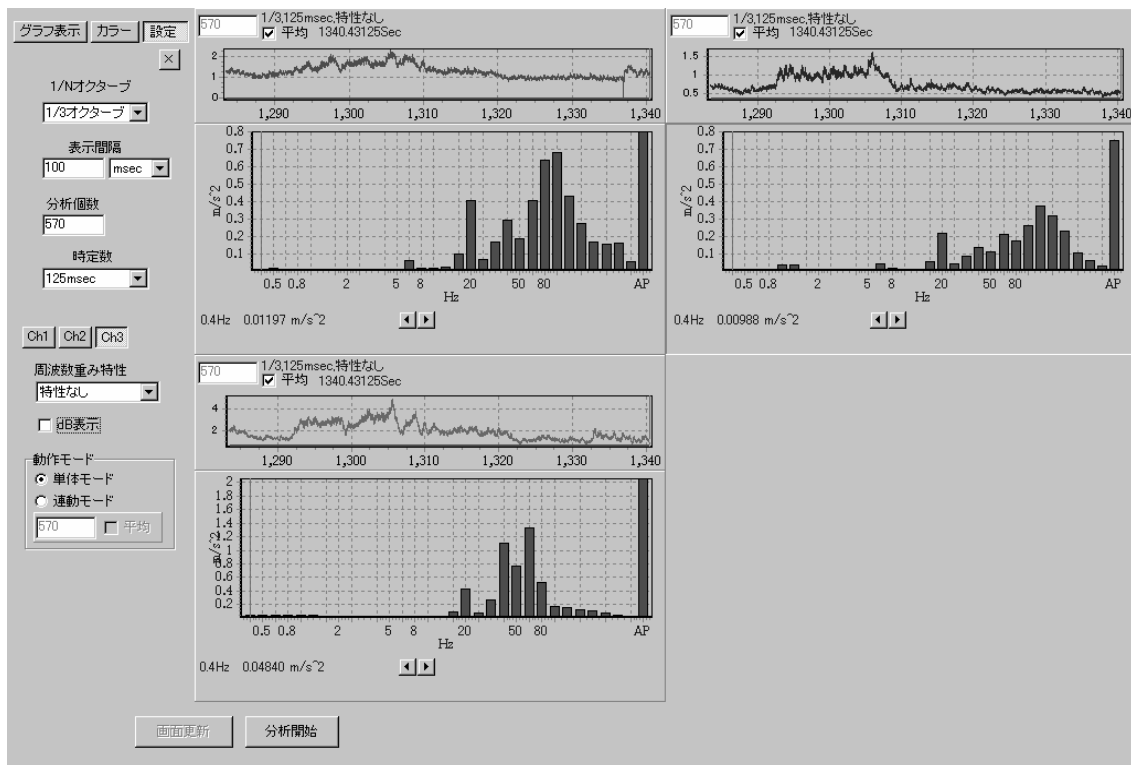
表1 飛行記録

経過時間(分:秒)	発生イベント
0:40	エンジン始動
2:00	離陸前 アイドリング
4:30	離陸
5:00	上昇
8:20	右旋回
8:40	右旋回
9:25	右旋回
10:20	左旋回
13:10	右旋回
20:00	左旋回
20:49	右旋回

21:00	降下
22:00	入港
22:50	着陸



図① - 1 レベルタイム波形 全体

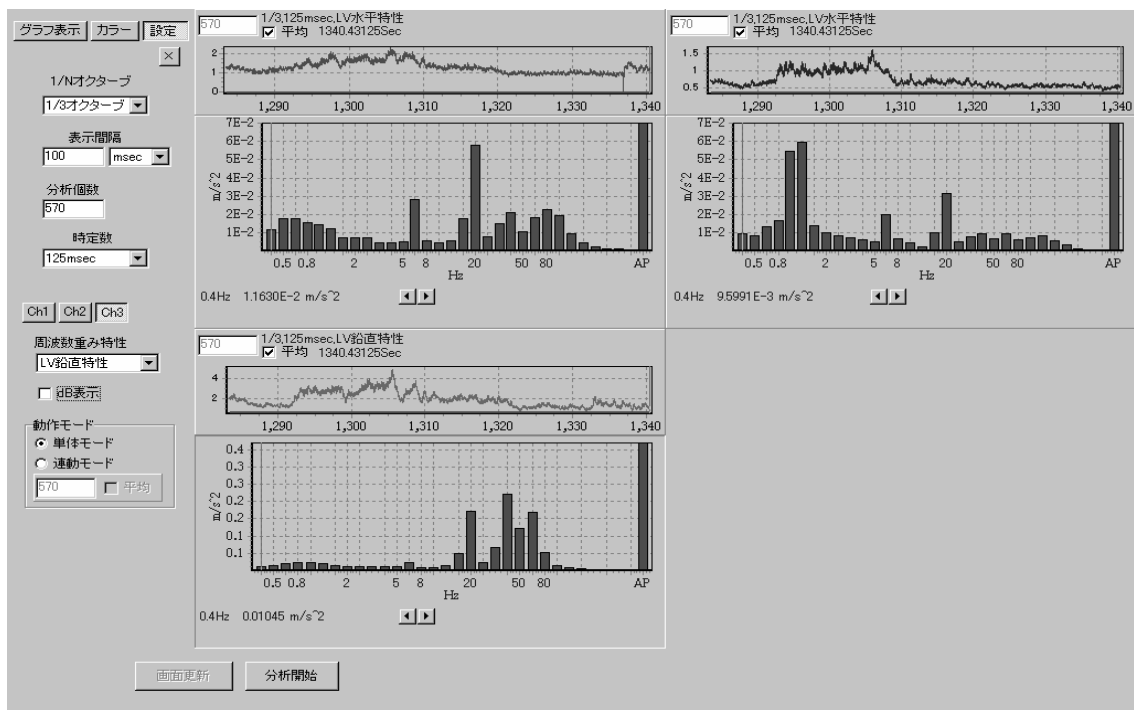


図①-2 周波数解析 降下 (感覚補正特性による補正無し)

(図①-2は図①-1の各グラフ内で赤線と青線で括った範囲を解析したもの。ヘリが着陸のため降下を始めてから地表面に近づいた時の振動を示している。)

通常人体が一番感じやすいとされる周波数帯域は80Hz以下の振動とされており、その中でも敏感なのは20Hz以下の成分とされている。しかし、図①-2は20Hz以上の周波数域における振動成分が他の周波数域より大きく、人体の感覚に影響を及ぼすと思われる20Hz以下の振動が、人体の感覚特性を鑑みると、実際の人体への影響に比して小さく評価されてしまうことになる。

このため人体の感覚補正特性で補正し、解析ソフト DA-20PA1 で、感覚補正特性 (JIS C1510) を掛け、この補正特性を用いて解析を実施した。(図①-3 参照)



図①-3 周波数解析 降下 (感覚補正特性による補正あり)

LV 水平および LV 鉛直の補正特性を掛けることにより、20Hz以上の周波数の影響が除去され、かつ20Hz以下の人体の閾値が低いと考えられる周波数の影響が明確になった。この結果、特に6Hz、20Hz、100Hzあたりに振動が強い周波数解析が観られた。

これをもとに、代表的なイベントを選び解析を行った。代表的なイベントとしては、離陸、上昇、旋回、降下、着陸の5つとした。解析結果を、図①-4~15に示す。

【飛行 ②】 / 【飛行 ③】

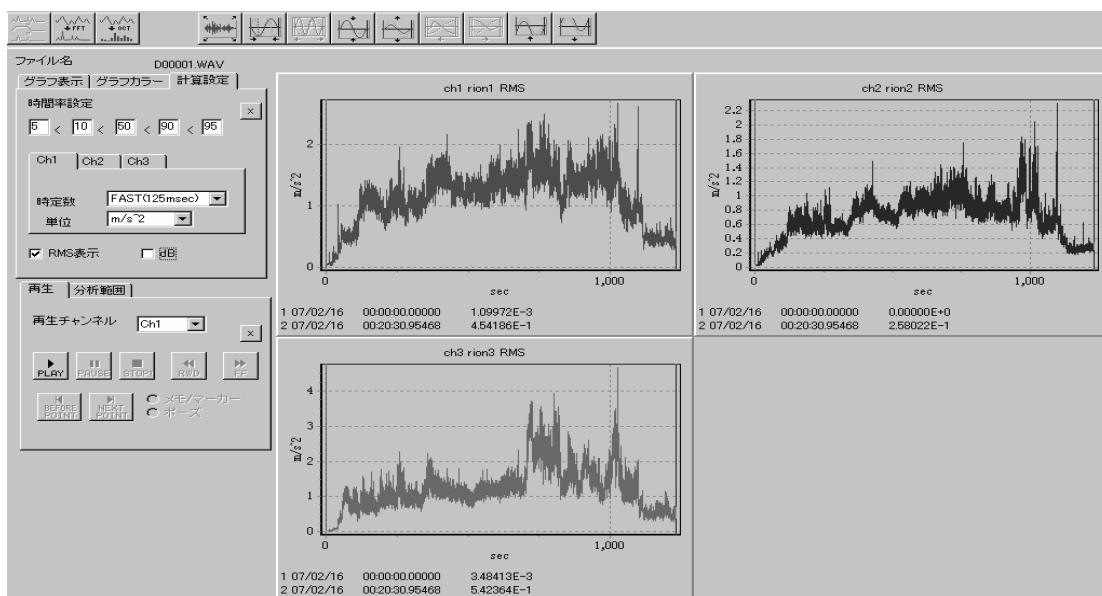
飛行①と同様に、飛行②～③についても LV 水平・LV 鉛直の補正特性を使用し、代表的なイベントを上記の 5 つとして解析した。

全体のレベルタイム波形の結果を以下の図② - 1 及び図③ - 1 に示す。全体的な波形の形としては、飛行①の結果と類似していた。随所にピークが観られ、イベントの記録（表 - 2）と経時的に照らし合せると、ピークとイベント発生時間が一致していた。

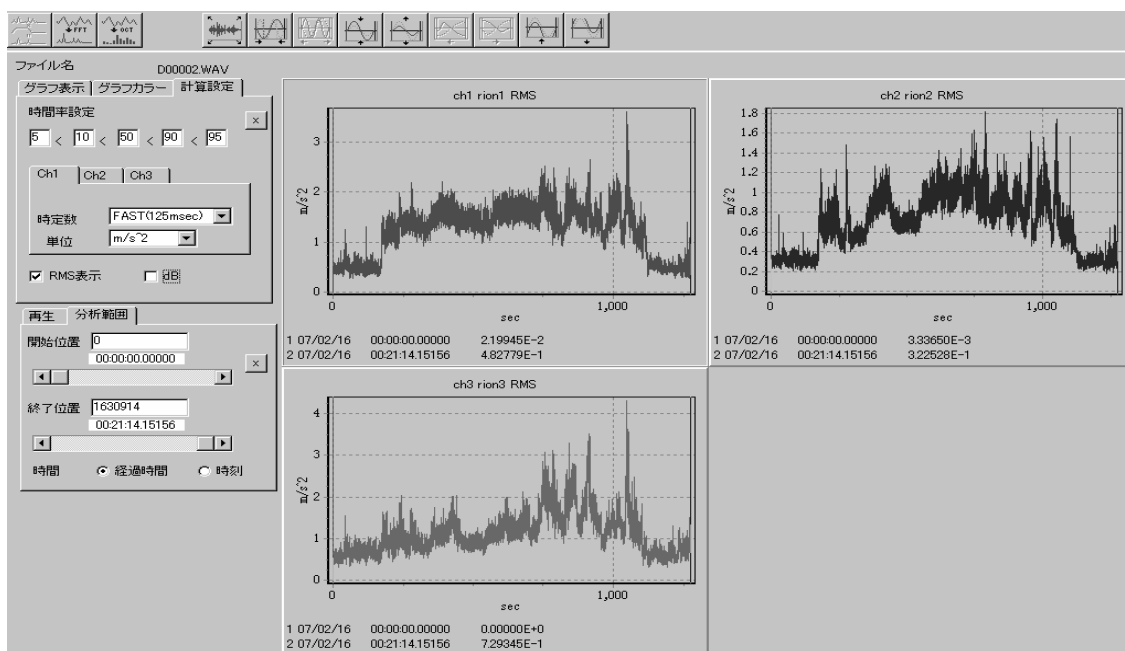
代表的なイベント時の解析結果を図② - 2～13 / 図③ - 2～13 に示す。

表 2 飛行記録②、③

(飛行 ②)		(飛行 ③)	
経過時間 (分 : 秒)	発生イベント	経過時間 (分 : 秒)	発生イベント
0:23	エンジン始動	0:23～2:47	アイドリング
1:50	離陸前 アイドリング	3:40	離陸
3:10	離陸	3:10	離陸
4:40	上昇	3:40	上昇
5:00	左旋回	4:40	左旋回
6:30	右旋回	6:40	右旋回
7:08	上昇 (高度 600m 到達)	8:40	上昇 (高度 600m)
11:40	降下 (450m)	12:16	降下 (450m)
13:30	左旋回	13:40	右旋回
14:10	右旋回	15:20	左旋回
15:50	右旋回	16:30	右旋回
11:40	降下	17:00	降下
12:40	入港	17:25	入港
13:40	着陸	18:10	着陸



図② - 1 レベル - タイム波形



図③ - 1 レベル - タイム波形

【飛行 ④】

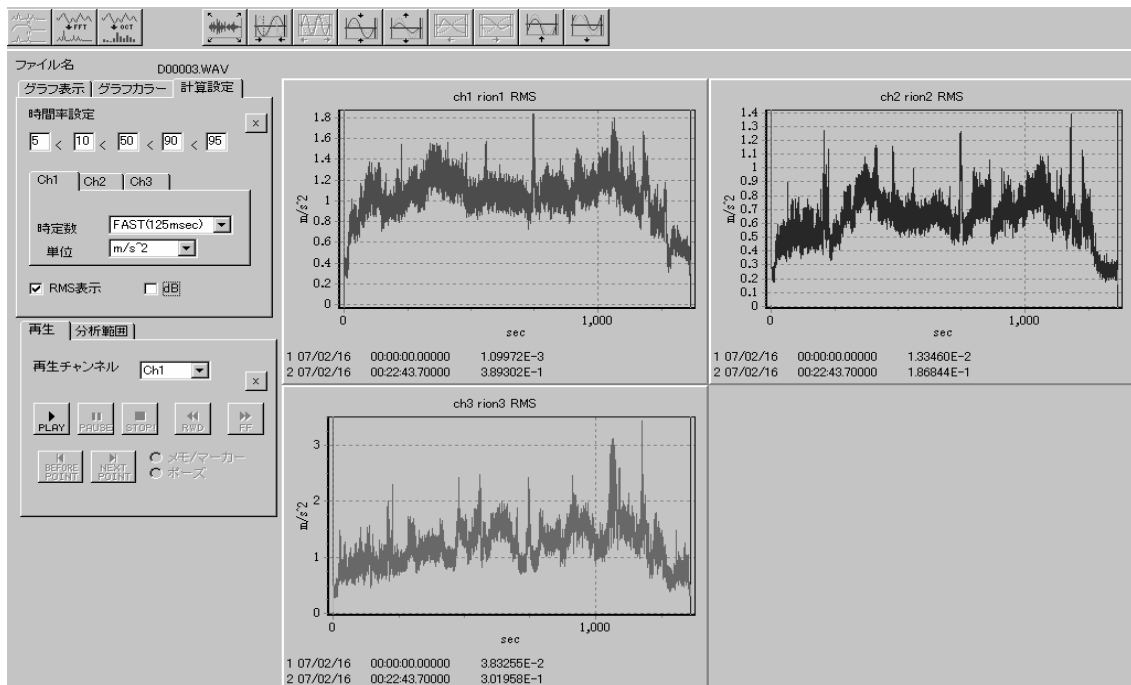
飛行④では、飛行イベントと振動、人体への影響の関連性をさらに確認するため、旋回等のイベントを意図的に強くまた多くした飛行を行った。下図④ - 1は、飛行開始から着陸までの振動の時間変化になるが、イベントの記録と経時的に照合すると、ピークとイベントの発生(表 - 3)が一致した。振動の解析結果を 図④ - 1~19に示す。



表3 飛行記録④

経過時間 (分:秒)	発生イベント
00:00~2:20	アイドリング
2:25	離陸
3:40	上昇
4:18	右旋回
6:55	上昇
8:30~9:50	8の字旋回 (右)
9:50~11:27	8の字旋回 (左)
11:40	右上旋回
13:15	左下旋回
17:30	左旋回
19:05	右旋回
19:10	降下
19:40	入港
20:50	着陸

表 - 3



図④ - 1 レベル - タイム波形 全体

## 2. 飛行中のバイタル所見

健常成人被験者 3 名において、高度 600m、速度 200km、20 分までの飛行では血圧(以下データは地上 vs 飛行中: 被験者①, ②, ③、 $146.8 \pm 7.46/85.2 \pm 10.5$  vs  $159.5 \pm 19.0/81.5 \pm 6.3$ ,  $124.6 \pm 12.0/85.0 \pm 2.8$  vs  $126.4 \pm 7.4/84.0 \pm 5.0$ ,  $127.3 \pm 18.0/84.1 \pm 11.3$  vs  $115.0 \pm 6.4/77.2 \pm 2.16$ )、脈拍 ( $83.6 \pm 7.5$  vs  $83.5 \pm 7.8$ ,  $79.3 \pm 4.7$  vs  $83.8 \pm 5.2$ ,  $78.5 \pm 4.2$  vs  $73.6 \pm 1.6$ )、酸素飽和度  $98.6 \pm 1.5$  vs  $98.0 \pm 2.8$ ,  $100.0 \pm 0.0$  vs  $98.5 \pm 0.5$ ,  $98.0 \pm 0.0$  vs  $97.5 \pm 0.5$ ) で心電図波形を含めて海拔 0m と飛行中とに変化は認めなかった。

## 3. 医療機器の動作確認

患者監視モニターは、時折、電磁波干渉によると思われる計測不能状態が見られた。全般的には、バイタル所見は概ねモニターされた。酸素飽和度(O2Sat)モニターでは、一定の周期のノイズが混入し、解析を実施したところ 5～6 Hz の周波数成分を持つノイズが検出された。このノイズはヘリコプターのメインローターの振動と整合していた。胎児心拍計についても、ヘリコプター内での動作の確認を行った。途中、充電池の不具合と思われる動作不良になることがあった。

## 「考察」

ヘリコプター飛行時の振動の測定は、これまでヘリコプターの機材としての耐久性・安全性を調査するために測定されたものはあるが、搭乗する人体への影響を検討するために測定されたものはほとんどない。このため、本研究におけるヘリコプターの振動測定システムは、新たに検討し確立する必要があった。医師、臨床工学士など医療従事者、ヘリ運航会社関係者、航空医学、自動車および建築の振動専門家等との多分野横断的連携による共同研究により、振動測定システムを検討・選定している。それらの測定システムを用いて、ヘリコプター飛行実験を行い、飛行時における振動を計測し経時的に記録、同時に経時的に記録した飛行状態、被験者の体感症状・バイタル所見と比較したところ、各飛行イベントと振動、体感イベントの一致が認められている。振動解析は人体の感覚補正特性(LV水平およびLV鉛直)で補正することにより、より人体の感覚閾値が低いとされる20Hz以下の振動の影響が明確になり、特徴的な振動成分を抽出し解析することが可能であった。この結果、6Hz、20Hz、100Hz周辺に振動が強い周波数解析が観られ、離陸／上昇／旋回／降下／着陸／水平のカテゴリ毎に解析しても、各々のカテゴリにおけるピークの出かたはほぼ同じ周波数域で認められるため、これらの振動周波数はヘリコプターの機体自体から発生する振動によるものと想定される。

そこで、試験飛行で使用したヘリコプターのローターの特性に基づいて、ヘリコプター機体からの振動を計算すると、

「メインローター」：(1回転に1回発生する振動)  $386\text{rpm} \div 60 \div 2\pi \approx 6.43\text{Hz}$

(1回転に3回(ブレード枚数)発生する振動)  $386 \times 3 \div 60 \div 2\pi \approx 19.3\text{Hz}$

「テールローター」： $2043\text{rpm} \div 60 \div 2\pi \approx 34.05\text{Hz}$

「テールローター・ドライブシャフト(テールローター駆動軸)」： $6000\text{rpm} \div 60 \div 2\pi \approx 100\text{Hz}$

「エンジンの出力軸」： $6000\text{rpm} \div 60 \div 2\pi \approx 100\text{Hz}$

これを比較すると、実際に振動計で得られた振動が強い周波数と、計算上のヘリコプター機体より発生する振動の周波数との間に整合性が認められる。ローターの特性は機種により異なるため、機種により発生する周波数成分が異なってくると考えられる。このことは、人体に影響の強い振動帯が明らかになった際には、その影響が出にくくなるように、医療用のヘリコプターを設計調整、機種選択、ないしは免振装置の設計をすることができる可能性を示している。今回、海拔0mの地上と高度600m、速度200km/hrまでの飛行では健康成人の医学的所見に有意な変化は認めなかったが、妊娠時は循環血液量や心拍出量の30-50%の増加を認めるという特殊な生理状態であり、また胎児という特殊な状態のヘリ搬送時の医学的所見の変化についてさらに調査をしていく必要がある。

今回、LV水平およびLV鉛直特性による人体感覚補正によって、各測定において、レベル-タイム波形のグラフから、実際の飛行時に起きたイベントとの関連性が見られ、有効なデータが得られているが、これに代えてより全身に対する振動ということに特性をおく

と、人体の感覚補正として、等価加速度演算 ( $a_w, a_w \max$ ) とウェイトイング;  $W_d$  (水平軸振動, X 軸と Y 軸) と  $W_k$  (垂直振動) (JIS B7760、ISO2631) により補正を行うと、さらに全身振動に対する振動の解析が明確になることが期待できると考えられる。

また、ヘリコプター搬送時に搭乗する医療機器については、現在、搬送用の医療機器はあるが、これらはヘリコプター内での医療機器の使用は想定されていなかったため、現在市販されている機器を流用しなければならない状態であり、必ずしも動作環境が適応しているとは限らない。今回の試験飛行において、胎児心拍計や患者監視モニターがノイズの混入などが観られた理由として、ノイズの周波数成分がヘリコプターのメインローターの振動と整合しており、機内での電磁波障害が考えられる。ヘリコプターは狭い空間に無線通信機器を含む多くの電子機器が装備されている。機内には様々な形の電磁波が存在するため、各種電子機器に影響する可能性は高いと考えられ、医療機器搭載にあたっては電磁波干渉試験を実施して電磁波障害の受けにくい機器の選択が必要である。

#### 「結語」

ヘリコプターに搭載し患者搬送時の振動を測定するための振動測定解析システムを、多分野連携共同で検討し、選定・確立した。これにより、測定したヘリコプター飛行時における振動は、飛行状態、体感イベントと一致し、解析により特徴的な振動成分が認められた。今後、ヘリ振動の母体胎児への影響に関して、集積してきているデータをさらに解析し、また、ヘリ搬送された母および児の長期的な予後の調査を行っていくことが必要であると考えられる。今日、周産期医療施設の不足は深刻な問題であり搬送手段の整備が必須であるが、母体搬送におけるヘリコプター利用の母体および児への安全性が示されれば、遠隔地搬送が必要な場合にも安全・安心な母体搬送システムの整備につながることを期待されている。

## <参考>

今回の研究で確立した同測定システムを用いると母体のヘリコプター搬送時における母体・胎児への振動の影響を調査するため測定系としては以下のように考えられる。

### 「方法」

#### 1) 測定項目

ドクターヘリ内搬送ベッドの患者腹部の背面に当たるベッド上の位置(V-1)に、振動計センサーを設置する。

胎児心拍計の胎児心拍センサー(V-3)と腹壁外圧センサー(V-2)を患者腹部に装着、ヘリポート離陸前か搬送先ヘリポート着陸後までの振動レベルを測定する。同時に、母体と胎児の医学データを記録する。

パイロットによって記録された飛行記録もデータとして参考にする。

#### 2) 使用測定機器

1. 振動計：RION 社 データレコーダーDA-20(1台)+円盤形センサーPV-62(1個)(図2)
2. 母体：血圧計・心拍数・酸素飽和度(O2Sat)モニター WelchAllyn 社 Propaq Encore  
センサーは血圧マンシエットと O2Sat センサー  
(電磁波干渉試験済みドクターヘリ常設機器)
3. 胎児関係：胎児心拍計 TOITU(1台)

センサーは胎児心拍センサーと腹壁外圧センサー

表 2-1 測定項目・測定点一覧

	測定項目	機器	測定位置	測定点の高さ	測定時間帯	測定項目	主たる測定対象
	振動	1	患者腹部背面	ベッド V1	離陸前から着陸後まで	振動の加速度	離陸、安定飛行、旋回、着陸の飛行経過
母体	血圧・心拍数	2	患者上腕	患者心臓	同上	母体の血圧、心拍数	同上
母体	O2Sat	2	患者手指		同上	母体の酸素飽和度	同上
母体	腹壁外圧	3	患者腹壁	下腹部 V2	同上	子宮収縮の強度、持続時間、周期	同上
胎児	心拍	3	患者腹壁	下腹部(児背部)V3	同上	胎児心拍(胎児ストレス)	同上
ヘリ	飛行記録		(パイロットの記録)			飛行記録	同上

※胎児心拍センサーと腹壁外圧センサーは同じ測定器(胎児心拍計)

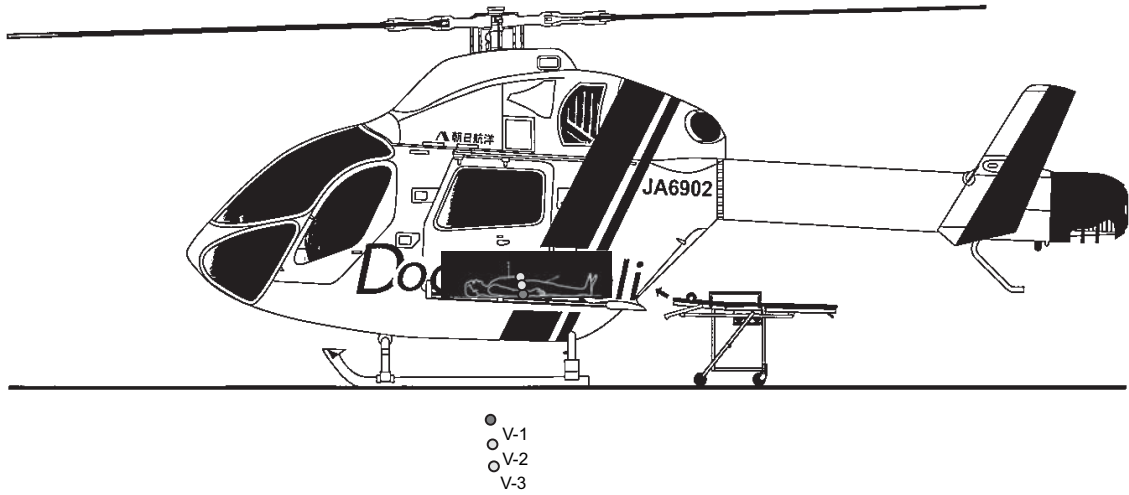
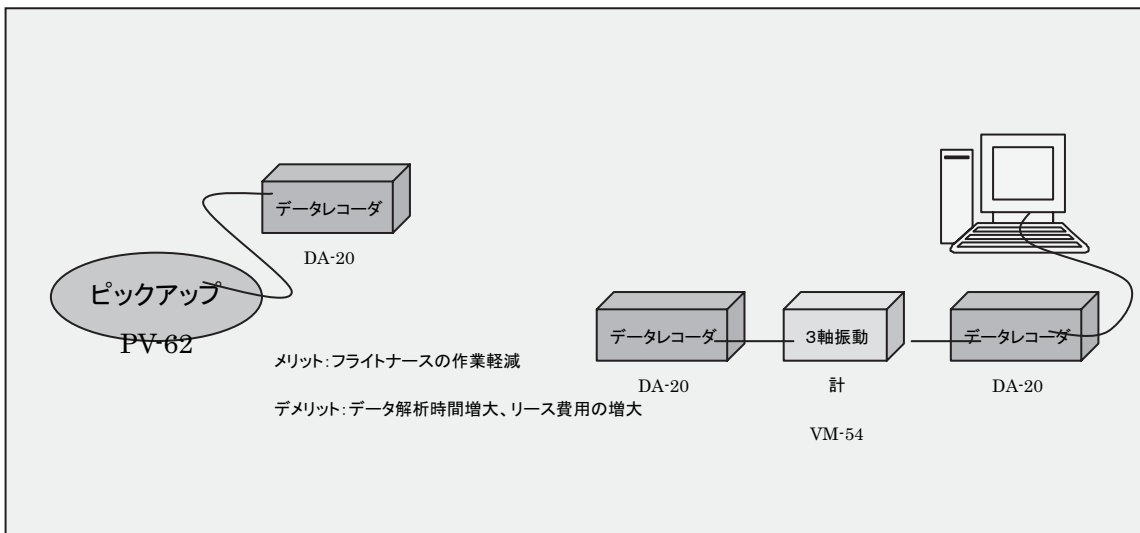


図 2-1 測定位置

- 3) 振動データ解析 機器 (図 2 参照) (オフィス内作業)  
 RION 社製 3 軸振動計 VM-54(1 台)+データレコーダー DA-20 (2 台)  
 波形処理ソフト DA-20PA1  
 コンピューター (1 台)



<ヘリ内作業：測定>

<オフィス内作業：解析>

図 2：振動測定と解析

この研究は、平成 18 年度の「消防防災科学技術研究推進制度」の助成を得て行ったものです。

\*\*\*\*\*

救急ヘリ搬送の母体胎児及び重度外傷患者に与える影響の研究

発行日：平成 19 年 3 月

発行：特定非営利活動法人

救急ヘリ病院ネットワーク（HEM-Net）

〒102-0082

東京都千代田区一番町 2 5 番 全国町村議員会館内

電話 03-3264-1190

FAX 03-3264-1431

\*\*\*\*\*