

國立臺灣大學生農學院生物產業機電工程學系

碩士論文

Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master thesis

揸負式割草機把手振動之量測與分析

Measurement and Analysis of Handle Vibration for
Grass Trimmers and Brush Cutters



Chang, Chen-Yueh

指導教授：葉仲基 博士

Advisor: Dr.-Ing. Chung-Kee Yeh

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

誌謝

感謝恩師 葉仲基教授從大學到研究所以來的指導與照顧，在研究與學習上，給予自由發展空間與適時指引方向；在做人處事上，也不時給予建議及協助，衷心感謝。感謝口試委員張森富教授與吳剛智教授剴切建議與細心斧正，獲益良多，使本文得以順利完成，謹此致由衷的謝忱，另感謝勞研所提供經費補助及林桂儀先生之協助。

感謝技士何萬中先生與黃清隆先生，多年來在學習及研究上的協助，受益良多；感謝弘彥學長學習上的指導及平時照顧，也感謝暉程、昱翔、孟成、元隆學長，以及敏港、暘杰、倍福、與佳蓉學妹，大家的平時照顧、鼓勵與協助，使兩年的求學生涯充滿了歡樂與陪伴。

最後，感謝父母、弟弟與女友的支持及鼓勵，使我能順利完成碩士論文，在此致上誠摯的感謝，雖然學生生涯可能自此告一段落，但學習並不只侷限在學校或是研究上，希望能持續保持研究與求學的精神，虛心面對未來每一個挑戰。

辛卯夏 張振岳 謹識

摘要

據估計國內使用揹負式割草機之勞工約有一萬人，相較於其他形式之割草機，揹負式具有價格低廉、機動性高、易於操作及施作迅速等優點，故廣泛被用於園藝業與雜草清除等作業上。其所產生之振動主要透過把手，經由手臂傳遞至人體，此類振動稱為手—手臂振動，勞工長期使用會對手部之骨骼、神經及肌肉造成影響，形成職業傷害。

本研究以 ISO 5349 之規範為基礎，利用手腕換能器組、電源供應器與耦合器及動態記錄器構成一量測系統，並使用頻譜分析儀進行分析，再依據國際手—手臂振動相關規範，計算勞工每日工時與終身工作年數。

實驗結果顯示揹負式割草機之振動總加速度隨著引擎轉速上升而增加，割刀使用二片刀之振動量明顯大於尼龍繩。又根據歐盟規範，容許每日最大工作時數介於 2.75 到 6.70 小時；而以 ISO 5349 計算終身工作年數，則介於 3.28 到 5.23 年，可做為揹負式割草機使用者之參考依據。再者，使用田口方法分析結果，在割草機型式、引擎轉速與刀片種類三個控制因子之下，對振動量貢獻的比例分別為 5.80%、56.88%、24.94%，且在此因子條件下，最佳化參數為軟管式割草機、引擎轉速 4500 rpm、以及使用尼龍繩。

關鍵詞：手—手臂振動、揹負式割草機、頻率分析、田口方法

Abstract

There are estimated about ten thousands of workers who use grass trimmers and brush cutters in Taiwan. Grass trimmers and brush cutters are cheaper, more portable, easier operation than other forms of lawn mowers, so they are widely used in field of horticulture and weed removal. It will cause human body damage if a user operates a grass trimmer or brush cutter for a long time, because such machines will deliver vibration from the tool handle to the human arm. The type of vibration is also called hand - arm vibration. After operating a grass trimmer or brush cutter for a long time, it will also cause disease of skeleton, muscle and nerve.

This study is based on ISO 5349. The measurement system consists of a hand-arm vibration measurement set (Svantek SV51), a power supply/coupler (KISTLER 5134) and a data recorder (Kyowa RTP-50A). The measurement data are then analyzed by a signal analyzer (Brüel & Kjær Type 2035). The daily working time and career lifetime that based on international standard of hand-arm vibration can also be calculated.

The results show that the total acceleration of such machines increases when the engine speed increases. The vibration caused by the two blades as cutter is significantly greater than that caused by monofilament cutting device. According to Directive 2002/44/ec of the European parliament and of the council, the maximum daily working

hours are between 2.75 to 6.70 hours. The career lifetime is between 3.28 to 5.23 years according to ISO-5349. By using Taguchi method, the contributions of total vibration with the factors of machine types, engine speed and cutting device account for 5.80%, 56.88% and 24.94% separately. And in this case, this method can also find an optimal operating parameter with using knap sack of brush cutters, 4500 rpm of engine speed and monofilament of cutting device.

Keywords: hand-arm vibration, grass trimmer, brush cutter, frequency analysis,

Taguchi method



目錄

誌謝	i
摘要	ii
Abstract.....	iii
圖目錄	vii
表目錄	ix
第一章 前言及研究目的	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的	2
第二章 文獻探討	3
2.1 振動對人體的特性與影響	3
2.1.1 人體的振動特性	3
2.1.2 振動對人體所造成的影響	4
2.1.3 手—手臂振動文獻探討	6
2.2 局部振動評估	8
2.2.1 振動的強度	8
2.2.2 振動量測座標	8
2.2.3 振動的頻率範圍	9
2.2.4 快速傅立葉轉換	11
2.2.5 暴露極限值	11
2.3 田口方法	17
2.3.1 品質特性與理想機能	17
2.3.2 因子種類與直交表	19
2.3.3 信號雜訊比與因子效應	19
2.3.4 變異數分析(ANOVA).....	20
2.3.5 最佳化與驗證	22
第三章 材料與方法	23
3.1 實驗材料	23
3.2 實驗儀器	25
3.3 儀器校正	29
3.3.1 加速度計測試	29
3.3.2 動態記錄器校正	29
3.4 實驗設計	30
3.4.1 硬體架構	30
3.4.2 實地量測與國際規範比較	31

3.4.3 田口方法	33
3.5 實驗流程	34
第四章 結果與討論	36
4.1 實際操作量測與分析	36
4.1.1 1/3 倍頻頻譜分析	36
4.1.2 國際規範之比較	49
4.1.3 實際除草與引擎空轉之比較	65
4.1.4 總結	69
4.2 田口方法分析	71
4.2.1 數據分析	71
4.2.2 最佳化及驗證	73
第五章 結論與建議	75
參考文獻	77
附錄 十二組實地測量實驗數據	81



圖目錄

圖 2-1	人體各部位共振頻率範圍	4
圖 2-2	手-手臂振動座標系統	9
圖 2-3	手-手臂振動加權曲線	12
圖 2-4	振動導致白指病第十百分位數預測函數	13
圖 2-5	理想機能與品質損失之關係	18
圖 3-1	軟管式割草機構造	24
圖 3-2	硬管式割草機構造	24
圖 3-3	手腕換能器組(SV51)	25
圖 3-4	電源供應器及耦合器	26
圖 3-5	引擎轉速計	27
圖 3-6	動態記錄器	27
圖 3-7	頻譜分析儀	28
圖 3-8	振盪器	28
圖 3-9	硬體架構	31
圖 3-10	軟管式割草機加速度計位置	32
圖 3-11	硬管式割草機加速度計位置	32
圖 3-12	實驗流程	34
圖 3-13	實際裝置架設	35
圖 4-1	軟管式尼龍繩引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	37
圖 4-2	軟管式尼龍繩引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	38
圖 4-3	軟管式尼龍繩引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	38
圖 4-4	軟管式二片刀引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	39
圖 4-5	軟管式二片刀引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	40
圖 4-6	軟管式二片刀引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	40
圖 4-7	硬管式尼龍繩右手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	42
圖 4-8	硬管式尼龍繩左手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	42
圖 4-9	硬管式尼龍繩右手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	43
圖 4-10	硬管式尼龍繩左手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	43
圖 4-11	硬管式尼龍繩右手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	44
圖 4-12	硬管式尼龍繩左手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	44
圖 4-13	硬管式二片刀右手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	46
圖 4-14	硬管式二片刀左手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	46
圖 4-15	硬管式二片刀右手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	47
圖 4-16	硬管式二片刀左手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜	47

圖 4-17 硬管式二片刀右手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜.....	48
圖 4-18 硬管式二片刀左手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜.....	48
圖 4-19 軟管式尼龍繩實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	65
圖 4-20 軟管式二片刀實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	66
圖 4-21 硬管式尼龍繩右手實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	67
圖 4-22 硬管式尼龍繩左手實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	67
圖 4-23 硬管式二片刀右手實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	68
圖 4-24 硬管式二片刀左手實際除草與引擎空轉總加速度比較.....	68
圖 4-25 因子變動對 S/N 比之反應.....	72
圖 4-26 因子變動對總加速度之反應.....	72



表目錄

表 2-1	手臂振動暴露導致白指病嚴重程度分級.....	5
表 2-2	手臂振動引起末梢感覺神經障礙分級.....	6
表 2-3	1/3 倍頻頻帶的中央及頻帶寬.....	10
表 2-4	手-手臂振動各頻率加權值.....	15
表 2-5	局部振動每日容許暴露時間.....	16
表 3-1	刀片選用配合除草種類.....	23
表 3-2	實驗割草機基本規格.....	25
表 3-3	加速度計(3023M2)各方向之電壓靈敏度.....	26
表 3-4	加速度計測試值.....	29
表 3-5	頻譜儀設定參數.....	30
表 3-6	控制因子種類與變動水準.....	33
表 3-7	$L_4(2^3)$ 直交表.....	33
表 4-1	實地量測時間地點表.....	36
表 4-2	軟管式尼龍繩 X 方向 RMS 加權加速度.....	49
表 4-3	軟管式尼龍繩 Y 方向 RMS 加權加速度.....	49
表 4-4	軟管式尼龍繩 Z 方向 RMS 加權加速度.....	50
表 4-5	軟管式尼龍繩總加速度.....	50
表 4-6	軟管式尼龍繩引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標.....	51
表 4-7	軟管式尼龍繩引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標.....	51
表 4-8	軟管式二片刀 X 方向 RMS 加權加速度.....	52
表 4-9	軟管式二片刀 Y 方向 RMS 加權加速度.....	52
表 4-10	軟管式二片刀 Z 方向 RMS 加權加速度.....	52
表 4-11	軟管式二片刀 RMS 總加速度.....	53
表 4-12	軟管式二片刀引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標.....	53
表 4-13	軟管式二片刀引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標.....	54
表 4-14	硬管式尼龍繩右手 X 方向 RMS 加權加速度.....	55
表 4-15	硬管式尼龍繩左手 X 方向 RMS 加權加速度.....	55
表 4-16	硬管式尼龍繩右手 Y 方向 RMS 加權加速度.....	56
表 4-17	硬管式尼龍繩左手 Y 方向 RMS 加權加速度.....	56
表 4-18	硬管式尼龍繩右手 Z 方向 RMS 加權加速度.....	56
表 4-19	硬管式尼龍繩左手 Z 方向 RMS 加權加速度.....	56
表 4-20	硬管式尼龍繩右手 RMS 總加速度.....	57
表 4-21	硬管式尼龍繩左手 RMS 總加速度.....	57
表 4-22	硬管式尼龍繩右手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標.....	58

表 4-23 硬管式尼龍繩左手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標	58
表 4-24 硬管式尼龍繩右手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標	58
表 4-25 硬管式尼龍繩左手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標	59
表 4-26 硬管式二片刀右手 X 方向 RMS 加權加速度	60
表 4-27 硬管式二片刀左手 X 方向 RMS 加權加速度	61
表 4-28 硬管式二片刀右手 Y 方向 RMS 加權加速度	61
表 4-29 硬管式二片刀左手 Y 方向 RMS 加權加速度	61
表 4-30 硬管式二片刀右手 Z 方向 RMS 加權加速度	61
表 4-31 硬管式二片刀左手 Z 方向 RMS 加權加速度	62
表 4-32 硬管式二片刀右手 RMS 總加速度	62
表 4-33 硬管式二片刀左手 RMS 總加速度	62
表 4-34 硬管式二片刀右手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標	63
表 4-35 硬管式二片刀左手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標	63
表 4-36 硬管式二片刀右手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標	63
表 4-37 硬管式二片刀左手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標	64
表 4-38 S/N 比實驗計算結果	71
表 4-39 各因子對割草機總加速度之變異數分析	73
表 4-40 田口方法預測結果	74



第一章 前言及研究目的

1.1 前言

近年來，勞工安全衛生問題一直是社會所關注的重要議題，行政院勞工委員會自1994年起，每三年調查「受僱者工作環境安全衛生狀況認知」，作為評估勞工環境衛生及安全衛生法之修訂，並從事相關之研究計畫。而勞工在實際現場作業中，常使用動力手工具，其所產生的振動與噪音，長期下來對勞工的生理及心理健康造成危害。

動力手工具所產生振動對人體之影響，主要是透過手—手臂振動(Hand-Arm Vibration, HAV)所傳遞，長期使用可能導致人體上肢末端的循環障礙、末梢神經障礙及肌肉、肌腱等運動障礙，此類運動障礙統稱為職業性雷諾現象(Raynaud's phenomenon of occupational-origin)。

目前對於局部振動的量測與法規，主要有國際標準化組織 2001年修訂ISO 5349、歐盟2002年 Directive 2002/44/ec of the european parliament and of the council 與2009年行政院勞工委員會勞工安全衛生設施規則第302條，均以ISO 5349內所規定之量測規範作為評估依據。

據估計國內使用揹負式割草機之勞工約有一萬人，相較於其他形式之割草機，揹負式具有價格低廉、機動性高、易於操作及施作迅速等優點，故廣泛被用於園藝業與雜草清除等作業上。

但國內目前有關動力手工具的振動分析與防治，多集中在營造業(胡等人，2009、盧等人，2005)，對於農用手工具則較少著墨(胡等人，2006)，詹與葉(2000)曾對數種農用手工具進行振動分析及量測，但隨著相關法規與標準的修訂，有其重新量測與分析的必要性。

故本研究以 ISO 5349 之規範為基礎，量測實際操作揹負式割草機所產生之把手振動，同時參考各國相關規範，以作為勞工安全參考依據。此外，並利用田口方法，找出一最佳化之操作參數。

1.2 研究目的

- 1.根據 ISO 5349 的規範定義，建立揹負式割草機把手振動量測系統，量測實際操作時所產生的把手振動，進行頻率分析，並以歐盟與我國的規範比較，評估其對人體所帶來的影響與危害，提出每日最大工作時數及終身可工作年數，作為揹負式割草機使用者之參考依據。
- 2.將實地量測結果，利用田口方法針對割草機型式、引擎轉速、刀片種類等三組控制因子進行分析，計算各因子對振動量貢獻比例，找出使用揹負式割草機最佳操作參數，並預測不同變動水準下所產生的振動量。

第二章 文獻探討

2.1 振動對人體的特性與影響

2.1.1 人體的振動特性

人體本身是一個彈性系統，有其固有共振頻率。根據生物力學研究結果顯示：在正常重力環境中，人體對於垂直方向的振動能量傳遞率以 4~8 Hz 時為最大，稱為人體的第一共振峰，主要是由於胸部共振所導致；10~12 Hz 的振動次之，為第二共振峰，主要是由於腹部共振所導致；20~25 Hz 振動能量在人體傳遞又稍次於第二共振峰，稱為人體的第三共振峰。隨著振動頻率的增高，振動能量在人體的傳遞率逐漸遞減，對人體生理影響也逐步減弱。(馬，1993)

人體各部位器官，各有其不同之共振頻率，對人體的影響也不盡相同，如圖 2-1 所示。大致上，人體振動暴露情形可分為下列三種(洪等人，1997)：

1.全身振動(1~80Hz)

是指整個人體暴露於振動。立姿時振動經由腳，坐姿時經由臀部，臥姿時經由支撐的物體，振動會傳到整個人體。

2.暈車病的振動(0.1~0.63Hz)

此類低頻的振動常發生於各種交通工具如：汽車、船及飛機等，暈車或暈船常隨年齡、性別與視覺活動而改變。

3.局部振動(8~100Hz)

通常由於使用手持動力手工具如揹負式割草機、鑽孔機及鏈鋸等，致使振動由工具傳到手-手臂系統甚至全身。

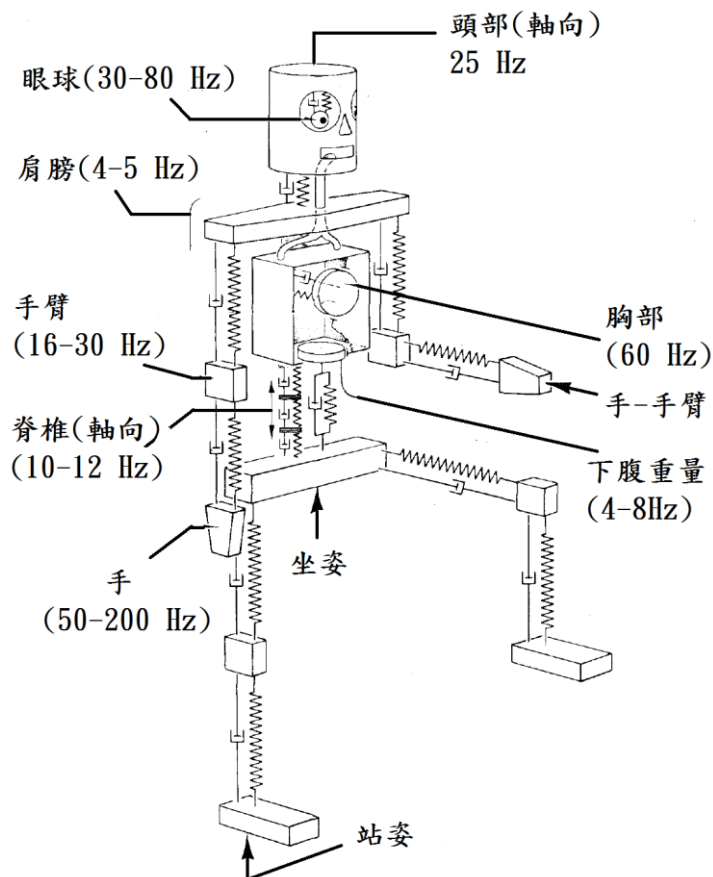


圖 2-1 人體各部位共振頻率範圍(Rasmussen, 1982)

2.1.2 振動對人體所造成的影響

勞工因長期使用動力手工具暴露在振動環境下，而導致血管、神經、肌肉及骨骼的障礙稱為振動症候群，亦稱為職業性雷諾現象(Raynaud's phenomenon of occupational-origin)。振動症候群主要的障礙包括(勞工安全衛生研究所，2008)：

1. 上肢的末梢循環障礙

手-手臂振動會傷害周邊循環系統，而引起操作者皮膚溫度下降，遇寒冷刺激後皮膚溫度不易恢復。振動亦會引起手指動脈強烈收縮、手指動脈阻力增加及血流減少，嚴重時將導致白指病產生，其嚴重程度分級如表2-1所示。主要引起血管收縮的頻率可能為60~100Hz，血管的傷害在振動暴露解除後，常能逐漸地復原，但對神經的傷害則屬不可逆的。

表 2-1 手臂振動暴露導致白指病嚴重程度分級(ISO 5349-1, 2001)

分級	嚴重程度	症狀描述
0	正常	沒有症狀
1 _v	輕度	偶爾手指變白，但僅限一隻或多隻手指的指尖。
2 _v	中度	偶爾手指變白，一隻或多隻手指遠端及中段指節(少數發生在近端)。
3 _v	重度	經常手指變白，大多數手指的全部指節均罹患。
4 _v	極重度	症狀同分級3，但合併指尖皮膚營養性的變化。

2. 中樞及末梢神經障礙

局部振動會造成握持動力手工具之手部末梢神經受傷，如腕隧道症候群，更由此傳遞到全身而引起中樞神經之障礙，主要症狀包括：(1).中樞神經機能異常，如失眠、易怒等。(2).交感神經緊張性增高。(3).末梢神經傳導速度減緩。(4).感覺障礙，如工人振動覺和痛覺閾值的提高，其症狀之分級如表2-2所示。

表 2-2 手臂振動引起末梢感覺神經障礙分級(ISO 5349-1, 2001)

分級	症狀描述
0 _{SN}	有振動暴露但無症狀。
1 _{SN}	間歇性手指麻木，合併有或沒有手部刺痛。
2 _{SN}	間歇性或持續性手指麻木，合併感覺遲鈍。
3 _{SN}	間歇性或持續性手指麻木，合併手部觸覺或靈巧度降低。

3. 骨骼、關節、肌肉及肌腱等異常而引起的運動機能障礙

振動症候群的診斷在早期主要靠徵候(symptom)及其症狀。大部份的患者最初之徵候只是手指間歇性刺痛或麻，在長期使用動力式手工具後，可能引起手臂骨骼、關節與韌帶之病變，導致手握捏力與輕敲能力逐漸降低。

2.1.3 手—手臂振動文獻探討

手—手臂振動症候群(hand-arm vibration syndrome, HAVS)，最初是在 1918 年由 Alice Hamilton 醫師所發現，其成因來自工作環境下的振動暴露，與振動頻率與操作時間有關，此後相關文獻便針對其進行進一步之研究。(張與陳，2004)

而人體對振動暴露的反應，可分為與人體相關因素及人機介面相關因素這二部分：人體相關因素如振動頻率、振動強度與方向、人體受振動的部位、人體與振動源的作用情況、人體的身體參數與生理狀態等；而人機介面相關因素則有工具本身設計與維護、持取工具的握力大小及握取部位、使用者經驗與操作姿勢與環境狀態等。(Griffin, 1997, 1998)

國外近年相關文獻研究方向有：設計或改良機構，以降低振動量(Ko *et al.*, 2010; Reddy *et al.*, 2010)、勞工職業安全與職業病預防(Cederlund *et al.*, 2007; Sauni *et al.*, 2009; Su *et al.*, 2011)與影響手—手臂振動量的相關因子分析(Dong *et al.*, 2005; Thompson *et al.*, 2008)等。國內主要則是著重於勞工職業安全與職業病預防(胡等人，2006, 2009)，其他部分的相關文獻較少，盧等人(2005)曾對裝配作業氣動工具的振動暴露進行評估，並提出作業平台改良以及使用手套及夾具，達到降低振動量目的。

而在揹負式割草機的手—手臂振動研究方面，Ko *et al.*(2010)改變把手型式與間距，而把手 B 相較於把手 A(原有型式)，振動量減少 76%，而 Mallick(2008)曾對軟管式割草機之握取位置、尼龍繩長度、引擎轉速及割草機與地面之夾角做為控制因子，分析並嘗試找出一最佳化之操作參數，結果顯示：振動量隨引擎轉速增加而增加，而尼龍繩長度與夾角則是在 100 mm 與 45°時，振動量最小，而 Mallick(2010)針對硬管式割草機之尼龍繩長度、引擎轉速及把手材質進行分析，結果顯示：振動量隨尼龍繩長度增加而增加、引擎轉速則在 4000 rpm 時有最大值、把手材質則以 ABS 樹脂有最小振動量。

但 Mallick(2008, 2010)所選用控制因子，在實務操作上並不見得具選擇性，而參考我國揹負式割草機使用者的實際作業，常用具選擇性的控制因子如割草機使用軟管或硬管、刀片的選用及使用者引擎油門的控制等，故本研究以割草機型式、刀片種類與引擎轉速作為控制因子，量測使用者實際除草狀況並嘗試找出一最佳化操作參數。

2.2 局部振動評估

人體暴露於振動的環境下，可能遭受全身或局部振動的傷害，當手握持著機具的把手時，振動能經由緊握機具的手及手臂傳遞到手-手臂系統，此種振動特稱為手-手臂振動(hand-arm vibration)，又稱為局部振動。國際標準化組織(International Standard Organization, ISO)於 ISO 5349《人對手傳振動暴露的測量和評估指南》指出，可根據振動強度、方向、頻率和接受振動時間綜合評估手傳振動(hand-transmitted vibration)對手臂的影響。

2.2.1 振動的強度

振動強度的大小，國際標準化組織規定加速度以 m/s^2 為單位，且以 RMS 值(root mean square value)來表示，如式(2-1)。過去在處理振動對人體之影響時，振動量常以分貝(dB)來表示，因為當人受到不同振動量之衝擊時，其反應為對數關係，如式(2-2)所示，其中 a_0 為加速度位準、 t 為時間、 T 為量測記錄時間。ISO 5349 使用加速度位準為 $a_0=10^{-6} \text{ m/s}^2$ ，日本則為 $a_0=10^{-5} \text{ m/s}^2$ ，但現今趨勢多直接以加速度量值表示。

$$a = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (2-1)$$

$$\text{dB} = 20 \log \left(\frac{a}{a_0} \right) \quad (2-2)$$

2.2.2 振動量測座標

局部振動之方向，根據 ISO 5349 所定義振動傳遞到手之方向，如圖 2-2 所示。此系統之原點定在第三掌骨端部， Z_h 軸是此掌骨的縱軸， X_h 軸是指由原點向掌心方向的軸， Y_h 軸為經過原點與 X_h 軸垂直的方向。在大寫字母(X、Y、Z)下標一個小寫字母(h)是為了避免與 ISO 2631-1 所規定的全身振動直角座標系統產生衝突。

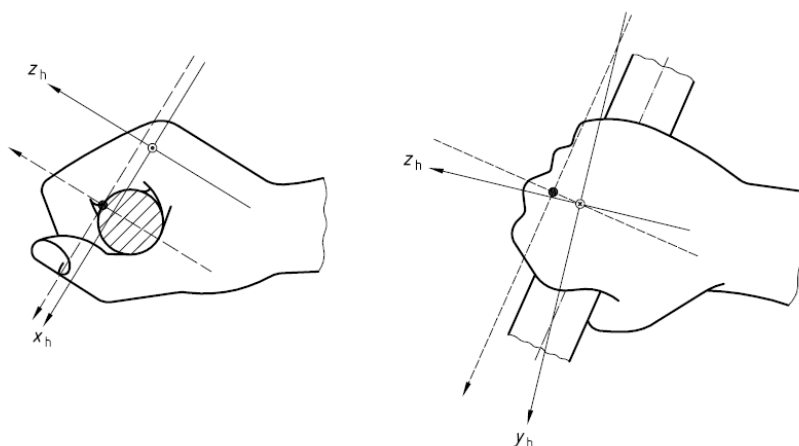


圖 2-2 手-手臂振動座標系統(ISO 5349-1, 2001)

2.2.3 振動的頻率範圍

ISO 5349 建議頻率的方式，主要使用 1/3 倍頻頻帶(octave bands)，其中中央頻率從 6.3 到 1250Hz；頻率加權(frequency-weighted)測量，其頻率範圍涵蓋 5.6 到 1400Hz。

根據國際電工委員會(IEC)提出的 IEC 60225，規定 1/3 倍頻頻帶的中央頻率 F_c 為

$$F_c = 1000 \times 10^{\frac{3n}{30}} \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2-3)$$

這些中央頻率是以 1000Hz 為基準，將前一個中央頻率乘上或除以 $10^{3/30}$ (因子 $2^{1/3}$)所得到的。每個 1/3 倍頻頻帶的頻率極限是其中以中央頻率乘上或除以 $10^{3/60}$ (因子 $2^{1/6}$)所得到的，以式(2-4)計算，其結果如表 2-3 所示。定義上限頻率為 F_u ，下限頻率為 F_l ，其關係如下：

$$\begin{cases} F_u = \sqrt[6]{2} \times F_c \\ F_l = \frac{1}{\sqrt[6]{2}} \times F_c \end{cases} \quad (2-4)$$

1/3 倍頻的頻帶寬(F_{band})為等百分比帶寬，因為頻帶寬總是中央頻率的
 恒定百分比(23%)，表示如下：

$$F_{band} = F_u - F_l = (23\%) \times F_c \quad (2-5)$$

表 2-3 1/3 倍頻頻帶的中央及頻帶寬

中央頻率[Hz]	下限頻率[Hz]	上限頻率[Hz]	頻帶寬[Hz]
6.3	5.6	7.1	1.5
8	7.1	8.9	1.8
10	8.9	11.2	2.3
12.5	11.2	14.1	2.9
16	14.1	17.8	3.7
20	17.8	22.4	4.6
25	22.4	28.2	5.8
31.5	28.2	35.5	7.3
40	35.5	44.7	9.2
50	44.7	56.2	11.5
63	56.2	70.8	14.6
80	70.8	89.1	18.3
100	89.1	112	23
125	112	141	29
160	141	178	37
200	178	224	46
250	224	282	58
315	282	355	73
400	355	447	92
500	447	562	115
630	562	708	146
800	708	891	183
1000	891	1120	229
1250	1120	1410	290

2.2.4 快速傅立葉轉換

分析振動訊號一般常使用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)。由於 FFT 相較傳統傅立葉轉換，有著複雜度低與易於程式化優點。透過計算機運算，可快速將時域訊號(Time domain)轉換成頻域訊號(Frequency Domain)，並從圖形上分析特定頻率與振幅的特性。

FFT 的結果由內部所設定的濾波器(filter)決定，此濾波器的形狀(shape)是依其加權視窗(weighting window)而定，本實驗所用訊號分析儀(必凱 B&K Type 3550)，其所提供的加權視窗，分別為 Rectangular、Hanning、Kaiser-Bessel 和 Flat top。Hanning 視窗擅於頻率分析，而 Flat top 視窗則擅於振幅分析。ISO 5349-2 建議使用 Hanning 視窗，所以本研究中之轉換訊號至頻率域過程均採用 Hanning 視窗。

2.2.5 暴露極限值

局部振動的暴露極限值經過頻譜分析後，可展現一頻率分佈的振動量曲線，將此量值與國際標準化組織在 2001 年提出的 ISO/DIS 5349 中建議的暴露極限值相比較，做為調整操作者每日工作的時數。ISO 5349 建議採用避免頻譜分析干擾的加權理論(weighting method)，對人體敏感的頻率範圍之振動予以加權，如圖 2-3 所示。對於手-手臂系統而言， X_h 、 Y_h 、 Z_h 三軸方向的敏感度皆相同，故僅需要一條加權曲線。由圖 2-3 可發現手-手臂系統對於振動最敏感的頻率範圍在 8 至 16 Hz 間。該標準對於 X_h 、 Y_h 、 Z_h 三軸方向的量測結果均適用，而總加速度 a_{hv} 則是以式(2-6)表示。

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2-6)$$

其中：

a_{hv} ：總加速度

a_{hwx} 、 a_{hwy} 、 a_{hwz} ：x、y、z 軸經過頻率加權的 RMS 加速度

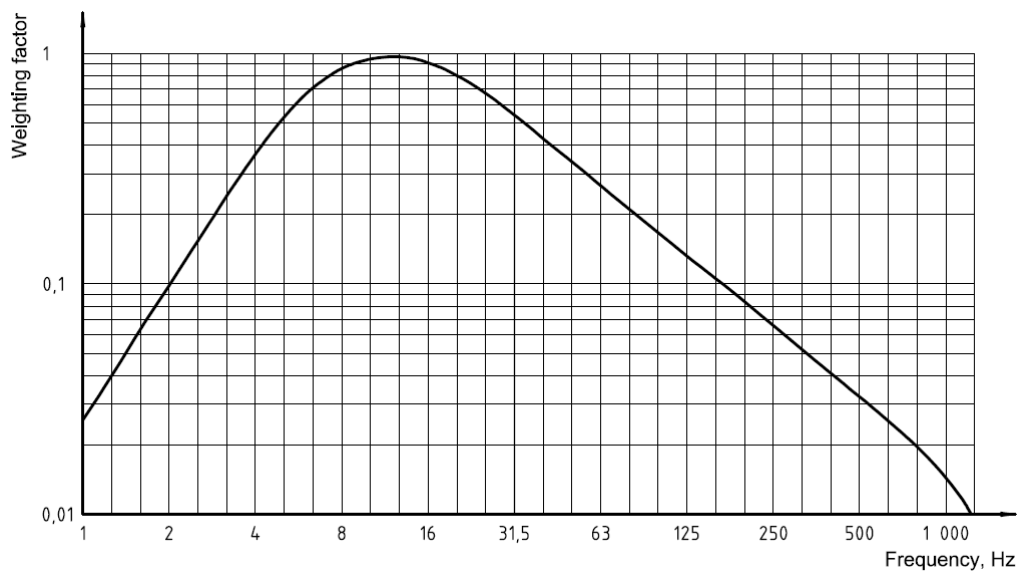


圖 2-3 手-手臂振動加權曲線(ISO 5349-1, 2001)

在 ISO 5349-1 的附錄 C 中，採用加權理論，以每日 8 小時使用振動手工具的暴露量與工作年數，做為預測罹患振動導致白指病(vibration-induced white finger, VWF)之參考依據，如圖 2-4 所示，其中斜線是總罹患 VWF 人數之第十百分位數，其預測公式如式(2-7)：

$$\frac{D_y}{\text{year}} = 31.8 \frac{A(8)^{-1.06}}{\text{m/s}^2} \quad (2-7)$$

其中：

D_y ：終身可暴露年數

$A(8)$ ：日常 8 小時等值能量總加速度值

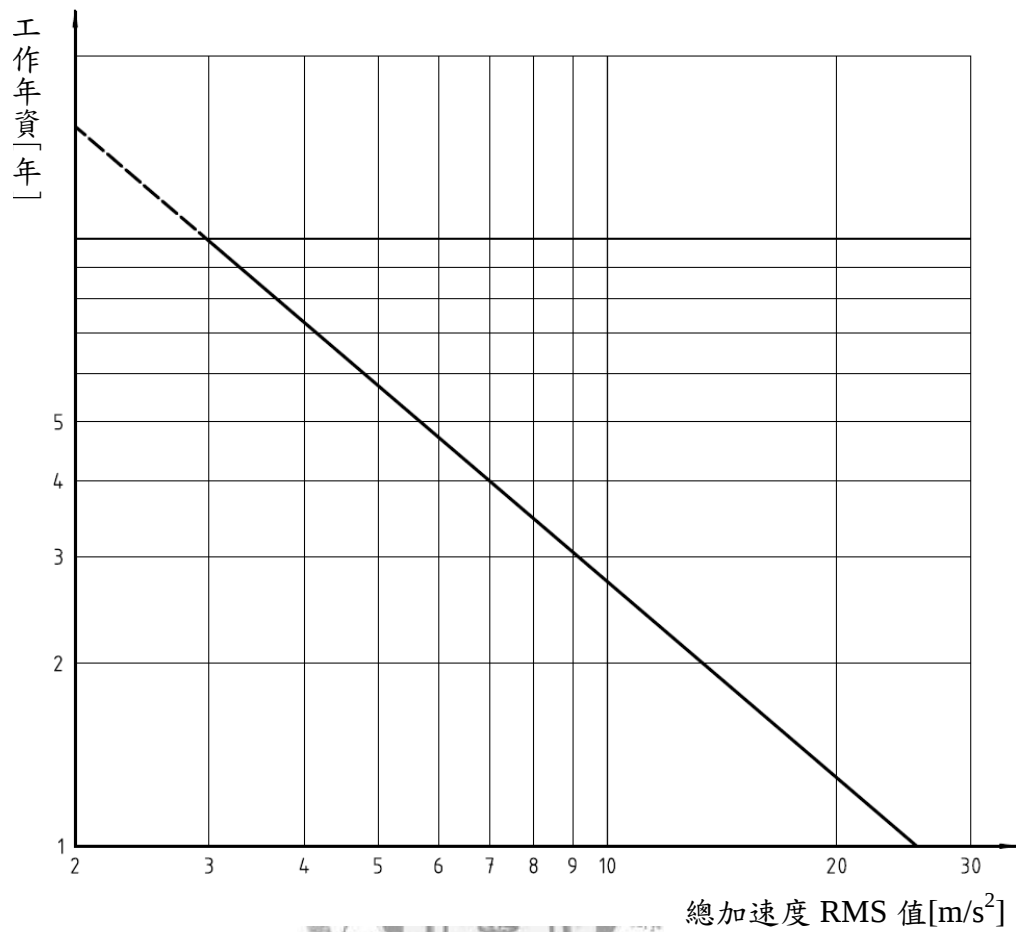


圖 2-4 振動導致白指病第十百分位數預測函數(ISO 5349-1, 2001)

如每天暴露時間不為 8 小時，則須先換算在 8 小時暴露週期內產生的等值能量頻率加權加速度值，計算公式如式(2-8)，其中 $T_0 = 8 \text{ hr}$ ：

$$A(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2-8)$$

若一個工作天內，包括了數個不同工作性質的操作，則這些加速度總和的計算公式如式(2-9)：

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (2-9)$$

其中：

a_{hvi} ：第 i 個操作的總加速度

n ：操作數目

T_i ：第 i 個操作所花時間

舉例來說，已知三個操作總加速度 2、3.5 及 10 m/s^2 ，一個工作天內，暴露時間分別為 1、3 及 0.5 小時，則日常 8 小時等值能量總加速度值為：

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8h} \left[\left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 1h + \left(3.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 3h + \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \times 0.5h \right]} \quad (2-10)$$
$$= 3.4 \text{ m/s}^2$$

ISO 5349 為了讓使用 1/3 倍頻法使用局部振動分析分析使用者，可以直接使用附錄 C 來預測罹患白指病之機率，規定加權加速度 a_{hw} 計算公式如下：

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (2-11)$$

其中：

W_{hi} ：第 i 個 1/3 倍頻頻帶的權值，如表 2-4 所示。

a_{hi} ：第 i 個 1/3 倍頻頻帶所測量到的加速度 RMS 值(m/s^2)。

i ：所使用的 1/3 倍頻頻帶數目。

表 2-4 手-手臂振動各頻率加權值(ISO 5349-1, 2001)

中央頻率 [Hz]	加權因子 [W_{hi}]
6.3	0.7270
8	0.8730
10	0.9510
12.5	0.9580
16	0.8960
20	0.7820
25	0.6470
31.5	0.5190
40	0.4110
50	0.3240
63	0.2560
80	0.2020
100	0.1600
125	0.1270
160	0.1010
200	0.0799
250	0.0634
315	0.0503
400	0.0398
500	0.0314
630	0.0245
800	0.0186
1000	0.0135
1250	0.00894

而歐盟於2002年公布的Directive 2002/44/ec of the european parliament and of the council規定：勞工8小時暴露於振動之行動閾值(Exposure Action Value, EAV)為 2.5 m/s^2 。當超過行動閾值時，雇主有義務告知勞工暴露在振動情況下之危害，舉辦相關安全訓練，降低振動對勞工之危害，而其振動暴露量不得超過 5 m/s^2 的限制閾值(Exposure Limit Value, ELV)。如果以行動閾值與限制閾值做為評估每日工作時數與最大工作時數依據，搭配式(2-8)，可得每日安全工作時數，如式(2-12)所示：

$$T = 8 \times \left(\frac{2.5}{a_{hv}} \right)^2 \quad (2-12)$$

而最大工作時數，如式(2-13)所示：

$$T = 8 \times \left(\frac{5}{a_{hv}} \right)^2 \quad (2-13)$$

而我國相關的法規是依據勞工安全衛生設施規則第 302 條，雇主雇用勞工從事局部振動作業，應使勞工使用防振把手等之防振設備外，並應使勞工每日振動暴露時間不得超過表 2-5 規定之時間。

表 2-5 局部振動每日容許暴露時間(行政院勞工委員會，2009)

每日容許暴露時間	水平及垂直各方向 局部振動最大加速度值[m/s ²]	
四小時以上，未滿八小時		4
二小時以上，未滿四小時		6
一小時以上，未滿二小時		8
未滿一小時		12

2.3 田口方法

常見實驗設計方法有以下幾種：試誤法(trial and error)、一次一因子法與全因子法等等，而各有優劣。試誤法主要是依靠個人主觀的直覺與經驗，選擇合適的設計參數，但因為過度依賴個人直覺與經驗，往往花費大量的時間與成本。

一次一因子法則是變動目標因子，其他因子則維持不變，藉以判斷此因子變動對實驗的影響，但由於未考慮其他因子的變動情況，導致不同因子比較時，並無法公平衡量各因子對實驗的影響。

全因子法則是透過直交表，有系統性進行實驗，可以消除因子間的偏誤，完整考慮所有因子的變動組合，但其最大的缺點是實驗組數太多，時間與成本花費過高。

而田口方法是田口玄一博士從 1949 年更新日本全國通訊系統後，並在往後幾十年中發揚光大，因為此方法著重於品質的改進，故形成一套的「品質工程學」，田口方法雖然無法完全消除因子間的偏誤，但透過系統性及少量的實驗次數，仍可獲得一定的資訊，常用於改善品質的方法上，故為工程上常使用的方法。田口方法本身有一套特有的術語，將在以下的小節說明。

2.3.1 品質特性與理想機能

首先田口博士將產品的品質定義為：「產品在其生命週期內，整個社會對其付出的總代價」，而越少的品質損失(quality loss)，代表產品有越高的品質，並將品質損失量化，做為衡量品質的依據，以此做為最佳化設計的基礎。

品質特性(Quality Characteristics)即是所謂實驗值、觀測值，以 y 表示，實驗理想值以 m 表示，品質損失函數(quality loss function)則為實驗值與理想值之差值，田口博士假設品質損失為一個二次函數，故品質損失函數 $L(y)$ 可被定義如式(2-14)所示，其中 k 為品質損失係數。

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (2-14)$$

每一個品質特性都有其理想值，各有不同之理想機能(ideal function)。理想機能基本上可分為靜態與動態。而靜態又可區分成三種類型：望目特性(nominal-the-best)、望大特性(larger-the-better)與望小特性(smaller-the-better)。

望目特性表示實驗有一固定理想值 m ，而當實驗值與理想值相同時，品質損失為 0，故有最佳品質。而望小特性則是期望實驗值越小越好，而將理想值設為 0 時，其品質損失會隨著實驗值的降低而減少，而望大特性則是希望實驗值越大越好，其理想值是無限大，但在實務上則常將實驗值取倒數，以望小特性的方式處理，其品質損失函數可以圖 2-5 表示。

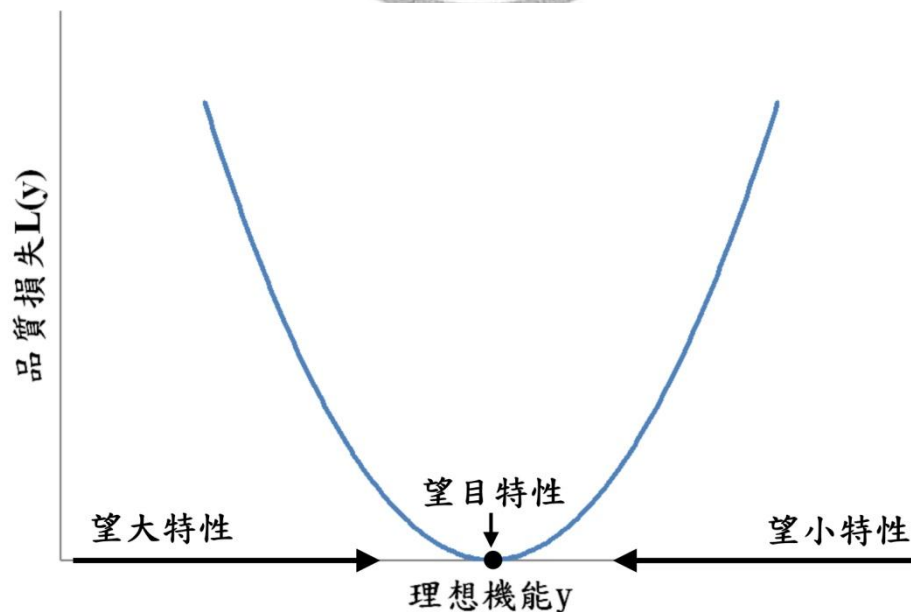


圖 2-5 理想機能與品質損失之關係

2.3.2 因子種類與直交表

影響實驗參數稱為因子，基本上可分為控制因子、干擾因子與信號因子，控制因子是實驗中可控制之設計變動參數，干擾因子則為影響實驗但無法控制之參數。而因子的變動值稱作變動水準，而根據因子與水準之數目，可選擇合適之直交表設計實驗，直交表特性為每兩行之間，所有組合出現的頻率次數一樣。直交表常表示為 $L_a(b^d c^e)$ ，L 表示拉丁方格(latin square)，a 表示實驗組合數，b、c 表示變動水準，d、e 表示該變動水準的因子個數。常見的直交表有二水準、三水準、四水準以及近直交表。

2.3.3 信號雜訊比與因子效應

雖然品質損失函數可以量化品質，但在田口方法中常用信號雜訊比(S/N ratio)，其由品質損失函數變化而來。首先以望目特性為例，n 個產品的總品質損失可表示如式(2-15)，而每一個產品的平均品質損失 Q(average quality loss)表示為式(2-16)。

$$\text{總品質損失} = \sum_{i=1}^n k(y_i - m)^2 \quad (2-15)$$

$$Q = k \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - m)^2}{n} \quad (2-16)$$

$$= k[S_n^2 + (\bar{y} - m)^2]$$

$$= k[\text{MSD}]$$

其中：

S_n ：n 個產品的樣本標準差

MSD：均方偏差，mean square deviation

因為品質損失係數 k 對同一種產品而言為常數，故將 k 排除，取對數則是為了使加法模式更為適用，乘以 10 是為了與傳統定義的 S/N 比一致，而取負號則是因為品質損失越小，表示 S/N 越大、品質越高。故可將望目特性的平均品質損失 Q 表示為式(2-17)，其中 η 表示 S/N 比，同理可得望小特性 S/N 比如式(2-18)，望大特性如式(2-19)所示：

$$\eta_{NB} = -10 \log[(\bar{y} - m)^2 + S_n^2] \quad (2-17)$$

$$\eta_{SB} = -10 \log[\bar{y}^2 + S_n^2] \quad (2-18)$$

$$\eta_{LB} = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n} \quad (2-19)$$

而因子效應是衡量因子的變動對 S/N 比或是品質特性影響大小。因子效應的計算，是依直交表將該因子相同水準之 S/N 比或是品質特性加總後平均，可表示成式(2-20)，其中 E_{1-2} 為因子 S/N 比由水準 1 變動至水準 2 之平均變動量，並可依此繪製因子反應圖，可簡單觀察各因子的影響與重要程度。

$$E_{1-2} = \bar{\eta}_1 - \bar{\eta}_2 \quad (2-20)$$

2.3.4 變異數分析(ANOVA)

變異數分析相較於因子效應，更能精確分析各因子的重要性與貢獻，並藉由 F 分配可分析各因子的可信度，下列簡略介紹變異數分析的各项數值：

(1). 自由度(degree of freedom, DOF)

可表示獨立數據的個數，若一因子有 n 個水準，則其自由度是 $n-1$ 。

(2).向量平方和(sum of square, SS)

每一個數據 y_i 與平均值 $\bar{y}$ 之距離，其計算方式如式(2-21)所示，總向量平方和則為各因子向量平方和與誤差平方和之總和。

$$SS = \sum_{i=1}^r (\bar{y} - y_i)^2 \quad (2-21)$$

(3).均方和(mean square summation, MS)

計算方式如式(2-22)所示，其意義相當於由樣本平均值估計之變異數，考慮了因子變動影響。

$$MS = \frac{SS}{DOF} \quad (2-22)$$

(4).貢獻度

計算方式如式(2-23)所示，總向量平方和包含各控制因子及實驗誤差的向量平方和，故其比例可做為對總品質損失所佔的貢獻度。

$$\text{貢獻度} = \frac{\text{各因子向量平方和}}{\text{總向量平方和}} \quad (2-23)$$

(5).F 分配(F distribution)與信心水準(Confidence level)

用以檢定兩種不同方法所估計之變異數，是否來自相同的樣本空間，計算方式如式(2-24)，其中 mS_z^2 為經由樣本平均值所估計原樣本的變異數， S_y^2 則是由原樣本所估計的變異數，而利用 F 值與自由度，經查表可得 F 分配下方曲線面積，此面積表示機率，經計算後可得信心水準，如式(2-25)所示。

$$F = \frac{mS_z^2}{S_y^2} \quad (2-24)$$

$$\text{信心水準} = 1 - (\text{F 值下方曲線面積機率}) \quad (2-25)$$

2.3.5 最佳化與驗證

田口方法之最佳化過程分為兩步驟：首先，利用對 S/N 具有影響力的因子，來最大化 S/N 比以縮小變異，隨後利用調整因子將平均值調整至目標值，調整因子是對 S/N 比影響較小，但會改變品質特性。

確認則包含預測與確認實驗，因為基於加法模式，即因子間無交互作用，或是交互作用影響很小，可以使用式(2-26)進行預測。

$$\eta = \bar{\eta} + (\bar{\eta}_{A_j} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{B_j} - \bar{\eta}) + (\bar{\eta}_{C_j} - \bar{\eta}) + \dots \quad (2-26)$$

確認實驗則是驗證因子間是否具有加成性，若預測值與實驗值差距太大，有以下可能：因子間本身存在有交互作用、因子的選擇不正確、遺漏其他相關因子，以及樣本數不足等。



第三章 材料與方法

3.1 實驗材料

割草機依其使用方式可分為乘坐式、手持式與揹負式三種，揹負式又依傳動構造可分為軟管式和硬管式，主要由揹負部、傳動部、引擎與刀片所構成(葉，2010)，其構造分別如圖 3-1 與圖 3-2 所示，而刀片之選用，則依據草的種類、長度及硬度，選用適當之刀片，如表 3-1 所示，以尼龍繩與二片刀最為常見。由於基本構造上差異，而對使用者造成不同程度上之影響，故本研究針對割草機型式、引擎轉速及刀片種類，透過實地操作與測量，評估揹負式割草機產生振動對人體之影響，並用以做為勞工職業傷害預防依據。

表 3-1 刀片選用配合除草種類(葉，2010)

種類	尼龍繩 (牛筋繩)	2 片刀	3 片刀	4 片刀	8 片刀
形狀					
適用範圍	軟和低 的雜草	軟和較低 的雜草	較低的雜草	稍低的雜草	稍硬的草



圖 3-1 軟管式割草機構造(葉，2010)

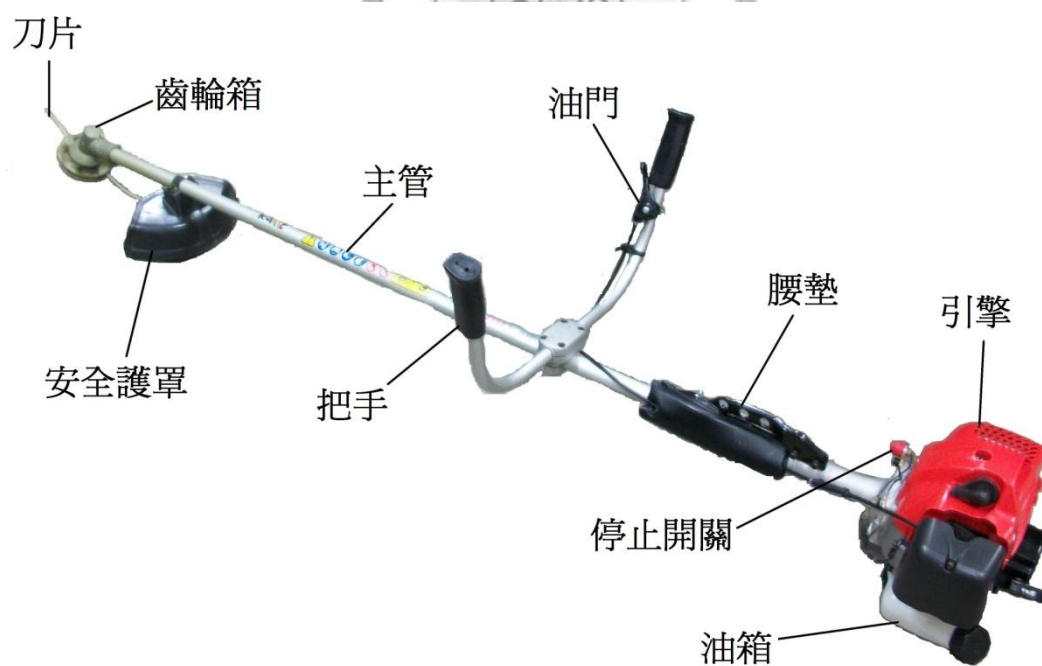


圖 3-2 硬管式割草機構造(葉，2010)

實驗材料是使用實驗室現有的割草機，軟管式為台灣型鋼力 SHIN KOMI TSK 43 摺負式割草機，硬管式為日本凱姿 KAAZ F350W 摺負式割草機，基本性能資料如表 3-2 所示。

表 3-2 實驗割草機基本規格

型號	SHIN KOMI TSK 43	KAAZ F350W
排氣量[c.c.]	42.7	42.7
最大動力[PS]	2.2	2
重量[kg]	10.5	7.5

3.2 實驗儀器

(1).手腕換能器組(hand-arm vibration measurement set)

本研究使用波蘭 SVANTEK 公司所生產的手腕換能器組(SV 51)，其由三組不同夾具(SA50, SA51, SA52)、三軸加速度計(Dytran 3023M2)以及一條導線(SC 36)所構成，如圖 3-3 所示，根據 Dytran 公司之測試資料，其各軸電壓靈敏度如表 3-3 所示。



圖 3-3 手腕換能器組(SV51)

表 3-3 加速度計(3023M2)各方向之電壓靈敏度

加速度計(3023M2)方向	電壓靈敏度(mV/ms ⁻²)
X 方向	0.989
Y 方向	1.03
Z 方向	1.05

(2).電源供應器及耦合器(power supply/coupler)

瑞士 KISTLER 公司製造，型號為 5134，有四組輸入輸出頻道，提供 9~18Vdc 之操作電壓，並可設定其增益與截止頻率，增益共有 7 種大小，其範圍介在 1~100 間，而截止頻率有 100、1k、10k、30k 可供調整，用以提供加速度計所需電源與電位信號處理，實體如圖 3-4 所示。



圖 3-4 電源供應器及耦合器

(3).引擎轉速計

日本 Okuda Koki Co. Ltd.製造，為一台四行程引擎專用之轉速計，型號為 ME-25，其原理是利用火星塞點火次數來量測引擎轉速，有 1500 rpm 與 7500 rpm 兩種模式，透過汽缸數調整旋鈕來估算大於 7500 rpm 轉速，實體如圖 3-5 所示。



圖 3-5 引擎轉速計

(4).示波器

台灣固緯電子(GW)實業股份有限公司製造，型號為 GOS-623B。將動態記錄器之輸出頻道連接示波器的 Ch. 1，以監視記錄器訊號之輸出是否正確。

(5).動態記錄器(data recoder)

日本共和(KYOWA)電業株式會社製造，型號為 RTP-50A，有四組輸出入頻道，可將電位訊號紀錄至磁帶，並提供訊號再現、補償、錄音及播放的功能，磁帶速度有 4.8 cm/s 與 9.5 cm/s 兩種，可記錄的最高頻率為 2.5 kHz，如圖 3-6 所示。



圖 3-6 動態記錄器

(6). 頻譜分析儀(signal analyzer)

丹麥 Brüel & Kjær 公司生產之多頻道分析系統(Multichannel Analysis System, Type 3550)，提供 1/n 倍頻分析(1/n octave analysis)、頻譜分析(spectrum analysis)及時域歷程(Time history)等功能，本實驗使用之雙頻道訊號分析儀(Type 2035)，其包括雙頻道模組(Type 3019)及訊號產生器(Type 3106)，分析頻率最高可達 25.6 kHz，而其資料可透過軟碟機儲存至磁片中。實體如圖 3-7 所示。

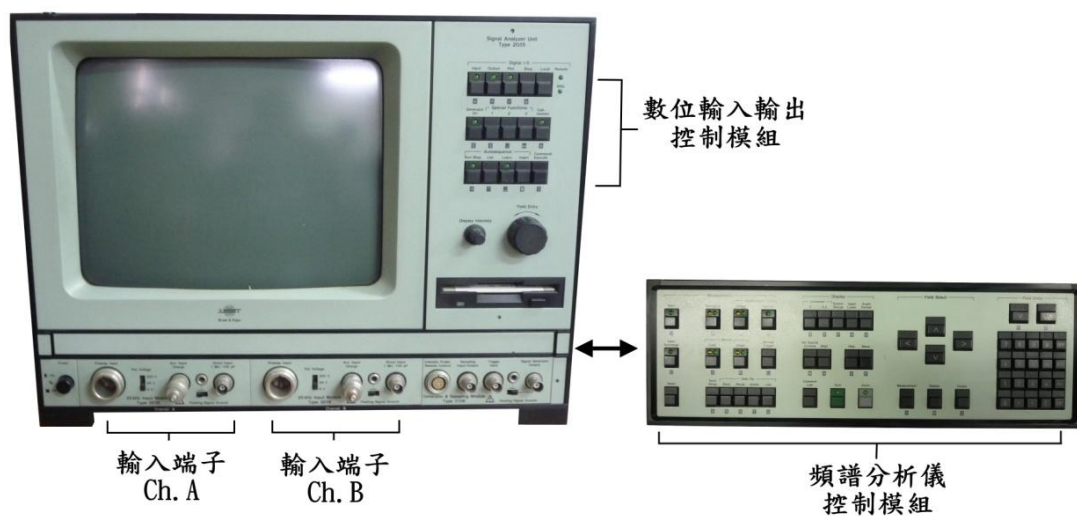


圖 3-7 頻譜分析儀

(7) 振盪器(reference shaker)

瑞士 KISTLER 公司製造，型號為 8192，可產生一頻率為 159.15 Hz、振幅為 10 m/s^2 之加速度，其可承受物體之最大負重為 400 公克，用以測試加速度計與校正動態記錄器，實體如圖 3-8 所示。



圖 3-8 振盪器

3.3 儀器校正

3.3.1 加速度計測試

利用 KISTLER 8192 振盪器做為參考振源，將 Dystran 3023M2 三軸加速度計以膠帶固定在振盪器上，連接導線至 KISTLER 5134 電源供應器之輸入，而將其輸出連接到示波器之 Ch.1 與頻譜分析儀的 Ch.A，開啟電源使振盪器產生一 159.2 Hz 10 m/s^2 的週期波，觀察示波器上所顯示波形是否正確，並使用頻譜分析儀進行頻譜分析，計算其加速度，重覆三次之平均如表 3-4。其皆在誤差容許範圍內，故不需進行校正。

表 3-4 加速度計測試值

	X 方向	Y 方向	Z 方向
加速度值[m/s ²]	9.88	10.12	10.12

3.3.2 動態記錄器校正

同 3.3.1 加速度計測試之儀器架設，開啟振盪器電源，使之產生一 159.2 Hz 週期波，利用頻譜分析儀之頻譜分析，計算其加速度並記錄，再將 KISTLER 5134 電源供應器之輸出連接至動態記錄器 Ch1、Ch2、Ch4 之輸入，再開啟振盪器電源，以磁帶記錄其訊號，並分別將動態記錄器之輸出，連接至頻譜分析儀之 Ch.A，將訊號再生並進行頻譜分析，比對與之前所記錄是否相同，若有差異，則調整動態記錄器之增益，使之一致。

3.4 實驗設計

3.4.1 硬體架構

實驗硬體架構根據詹與葉(2000)，並做些許改進，如圖 3-9 所示，引擎轉速計可量測引擎轉速，作為衡量割草機動力輸出的判斷依據。手腕換能器使用壓電式加速計，搭配電源供應器與耦合器，可直接輸出電位訊號，不需經過微分或積分等步驟處理，同時為了避免記錄器本身雜訊干擾，故將電源供應器與耦合器之增益設定為 10，而手部振動加權曲線範圍可達 1250 Hz，故將截止頻率設定為 10 kHz；動態記錄器則設定磁帶速度為 4.8 cm/s，各 channel 的增益設為 1，並將其 Ch.1 之輸出，連接至示波器之 Ch. A，可直接由現場判斷訊號是否正確。

現場量測結束後，便將動態記錄器帶回實驗室，分別將 Ch.1、Ch.2 與 Ch.4 之輸出連接至頻譜分析儀，使訊號再生，而將其他待輸出之頻道，連接至示波器，以監看輸入的訊號是否正確，頻譜分析儀相關參數的設定如表 3-5 所示，以頻譜分析儀進行 1/3 倍頻分析處理後，將結果以 CVP 格式記錄存入磁片，使個人電腦可直接讀取。

表 3-5 頻譜儀設定參數

儀器設定參數及方法	實驗設定值
測試分析方法	1/3 倍頻分析
頻寬採樣頻率	6.3Hz 到 1.25kHz
加權函數窗口	Hanning 視窗
動態顯示單位	RMS (dB)
平均方法及次數	1分鐘平均
頻道靈敏度設定值	x 方向 9.89 mV/ms ⁻²
	y 方向 10.3 mV/ms ⁻²
	z 方向 10.5 mV/ms ⁻²

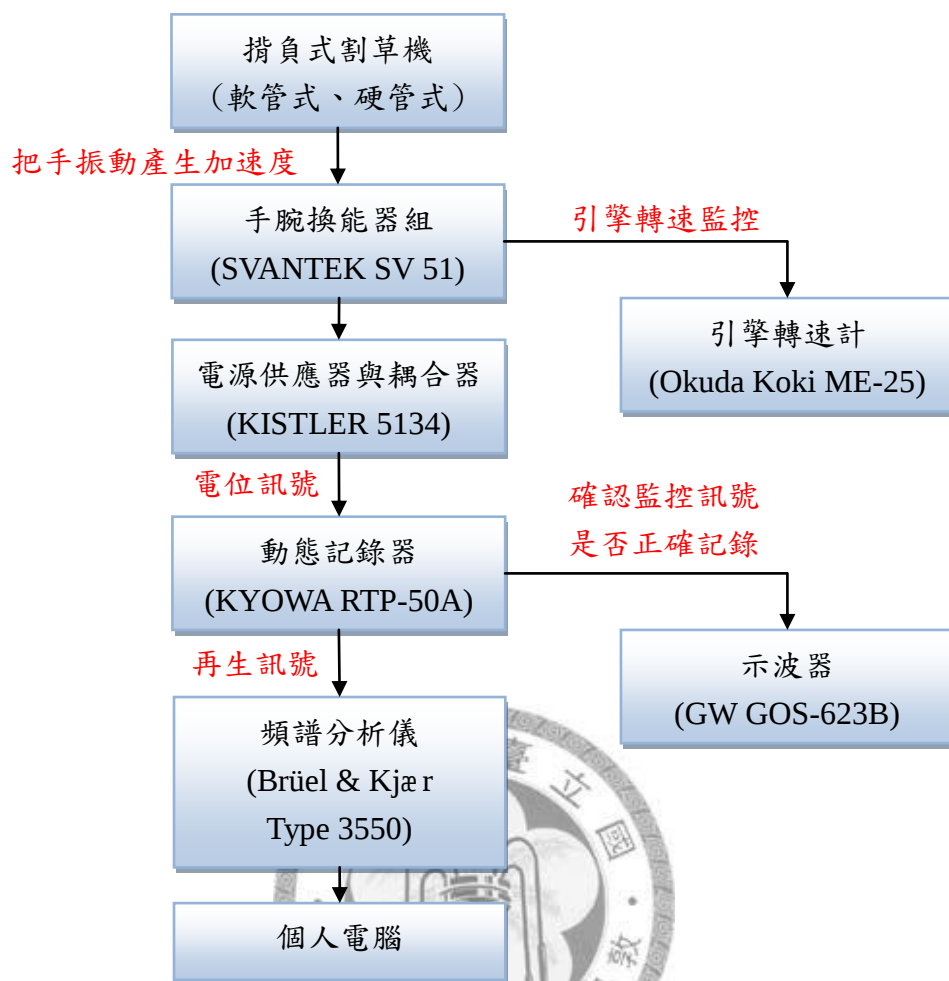


圖 3-9 硬體架構

3.4.2 實地量測與國際規範比較

主要量測實地除草作業振動暴露情況，以揹負式割草機型式、引擎轉速與刀片種類做為控制因子，比較其差異性。根據 ISO5349 規範，需量測左手及右手引擎怠速、低速運轉、高速運轉時的振動量，而為使軟管式與硬管式引擎轉速一致，故分別對兩割草機轉速進行測定，軟管式引擎轉速範圍為 3000 到 7000 rpm，硬管式為 3000 到 9500 rpm，而將量測轉速定為怠速 3000 rpm、低速 4500 rpm 與高速 6000 rpm，實驗時間與次數則參考 ISO 5349 與 ISO 7505「林木機械－鏈鋸－手傳振動的測量」之規定，量測次數設為 5 次、每次量測時間為 1 分鐘，而加速度計放置位置以紅圈標示，軟管式如圖 3-10、硬管式放置處如圖 3-11，皆以徒手握取。

量測結束後將再生訊號，進行 FFT 轉換，並以表 2-4 之權值加權，獲得加權後各軸與總加速度加權加速度頻譜，針對割草機型式、引擎轉速與刀片種類，分析頻譜特性，再以式(2-6)與式(2-11)計算各軸與總加速度 RMS 加速度值，用以衡量振動量大小。

最後計算日常八小時暴露量，根據長期使用揹負式割草機除草作業使用者的使用情況，每日實際操作工時為 6 hr，故計算上也以 6 小時做為參考基準，再比對式(2-7)、式(2-12)與表 2-5，可計算勞工終身可工作年數與每日最大可工作時數，做為揹負式割草機使用者參考依據。此外，由於實際除草時干擾變因太多，故量測割草機空轉時振動情形做為參考，引擎轉速每隔 1000 rpm 量測一次。



圖 3-10 軟管式割草機加速度計位置



圖 3-11 硬管式割草機加速度計位置

3.4.3 田口方法

以實地除草作業為基礎，進一步分析各控制因子對振動量的貢獻、振動量最佳化與預測，以總加速度為品質特性，選定割草機軟硬管型式、引擎轉速及刀片種類為控制因子，轉速部分因考量實際除草情況，怠速無法進行除草作業，所以選用低速 4500rpm 與高速 6000rpm，故各因子分別皆有二個變動水準，選用 $L_4(2^3)$ 直交表，其設定值如表 3-6、3-7 所示，以實地除草實驗數據進行分析，計算 S/N 比並繪製因子反應圖，再以 ANOVA 分析各因子對割草機把手振動的貢獻量，最後最佳化與驗證。

表 3-6 控制因子種類與變動水準

	A	B	C
因子種類	割草機型式	引擎轉速	刀片種類
Level 1	軟管式	4500	尼龍繩
Level 2	硬管式	6000	二片刀

表 3-7 $L_4(2^3)$ 直交表

Exp.	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

3.5 實驗流程

- 1.由 3.4 節，確立實驗流程如圖 3-12。
- 2.架設實驗儀器如圖 3-13，並檢查儀器參數是否設定正確。
- 3.熟悉各型割草機之操作方法。
- 4.發動割草機，並將手腕換能器放置在如圖 3-10 與 3-11 示意之處，開始量測並記錄，每次 1 分鐘，連續量測 5 次，並立即再生，檢視訊號是否異常，並改變實驗控制因子，直至實際操作量測完成。
- 5.將動態記錄器連接至頻譜分析儀使訊號再生，並以 FFT 轉換，進行 1/3 倍頻分析同時將待量測之頻道連接至示波器，以監控訊號之正確性。
- 6.分析完成後，將資料存成 CVP 格式，儲存至磁片中，利用個人電腦進行數據處理與計算。
- 7.進行頻譜與國際規範之討論及田口方法分析。



圖 3-12 實驗流程



圖 3-13 實際裝置架設



第四章 結果與討論

4.1 實際操作量測與分析

分別以割草機型式、引擎轉速及刀片種類為控制因子進行實驗，每種組合重覆三次實驗，參數設定及實驗時間地點如表 4-1 所示，以下分別就 1/3 倍頻頻譜與國際規範兩部分進行分析與討論。

表 4-1 實地量測時間地點表

實驗組別	時間	地點	割草機型式	刀具
1	2011/04/07 下午	台大生機系二號館前方草地	軟管式	尼龍繩
2	2011/04/07 下午	台大生機系二號館前方草地	軟管式	兩片刀
3	2011/04/07 下午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	尼龍繩
4	2011/04/10 上午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	兩片刀
5	2011/04/10 下午	台大生機系知武館後方草地	軟管式	尼龍繩
6	2011/04/10 下午	台大生機系知武館後方草地	軟管式	兩片刀
7	2011/04/12 上午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	尼龍繩
8	2011/04/12 下午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	兩片刀
9	2011/04/12 下午	台大生機系知武館後方草地	軟管式	尼龍繩
10	2011/04/13 下午	台大生機系知武館後方草地	軟管式	兩片刀
11	2011/04/13 下午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	尼龍繩
12	2011/04/14 下午	台大生機系知武館後方草地	硬管式	兩片刀

4.1.1 1/3 倍頻頻譜分析

(1).軟管式尼龍繩

引擎轉速 3000、4500、6000 rpm 之 1/3 倍頻頻譜如圖 4-1~4-3 所示。引擎轉速為 3000 rpm 時，三軸 RMS 加權加速度頻譜有相同趨勢，且加速度峰值集中在 50 Hz 處，而 Y 方向 RMS 加權加速度大於 X、Z 方向。此情況是合理的，因為傳動軸軸

心旋轉方向，與手部量測座標 X-Y 平面一致，故最大值應出現在 X 或是 Y 方向。引擎轉速為 4500 rpm 時，其頻譜峰值並不一致，大約在 40~80 Hz 間，推測原因是因為 4500 rpm 時，使用尼龍繩刀片除草時，有時因草本身韌性產生阻力，而使刀片轉速減慢，而產生不規則振動，使各軸峰值未落在同一頻率上，其振幅最大值為 X 方向 80 Hz 處的 3.484 m/s^2 ，大於引擎轉速為 3000 rpm 之振幅；引擎轉速為 6000 rpm 時，其三軸 RMS 加權加速度頻譜有相同趨勢，頻譜峰值集中在 63 Hz 處，而最大振幅為 X 方向的 22.582 m/s^2 。

綜合以上討論，三軸之加權加速度頻譜應有相同趨勢，其峰值介在 50~80 Hz 間，而振幅最大值則出現於 X 或 Y 方向，其值隨引擎轉速為增加，而由 1.962 增加至 22.582 m/s^2 。

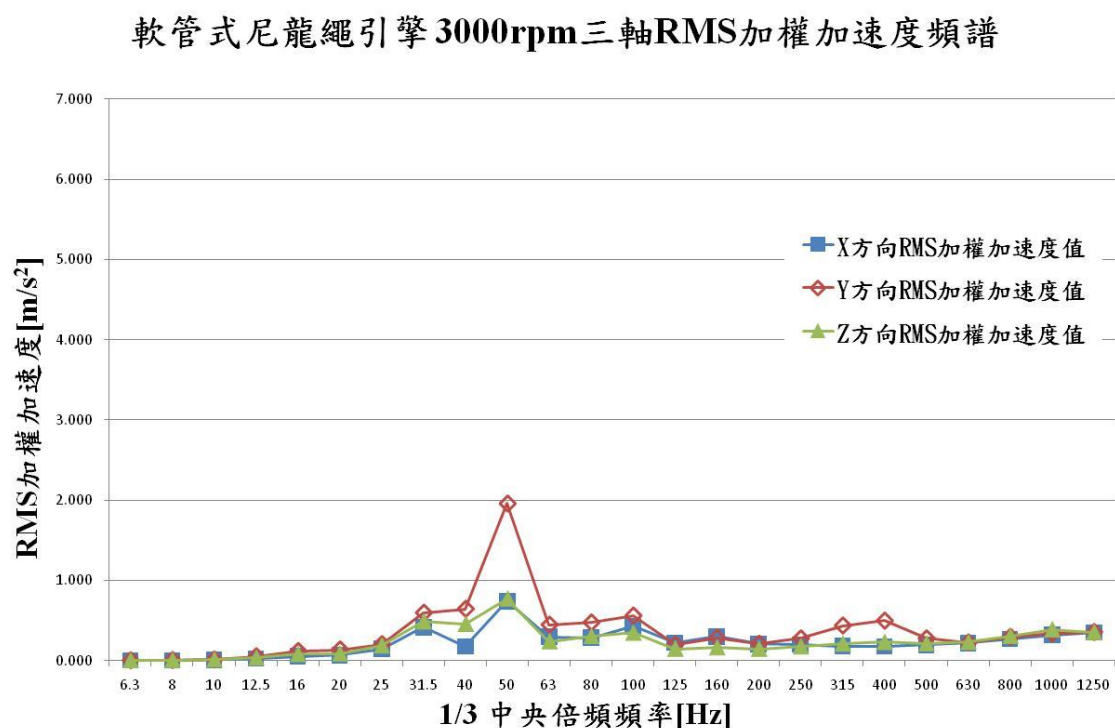


圖 4-1 軟管式尼龍繩引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

軟管式尼龍繩引擎 4500rpm 三軸RMS加權加速度頻譜

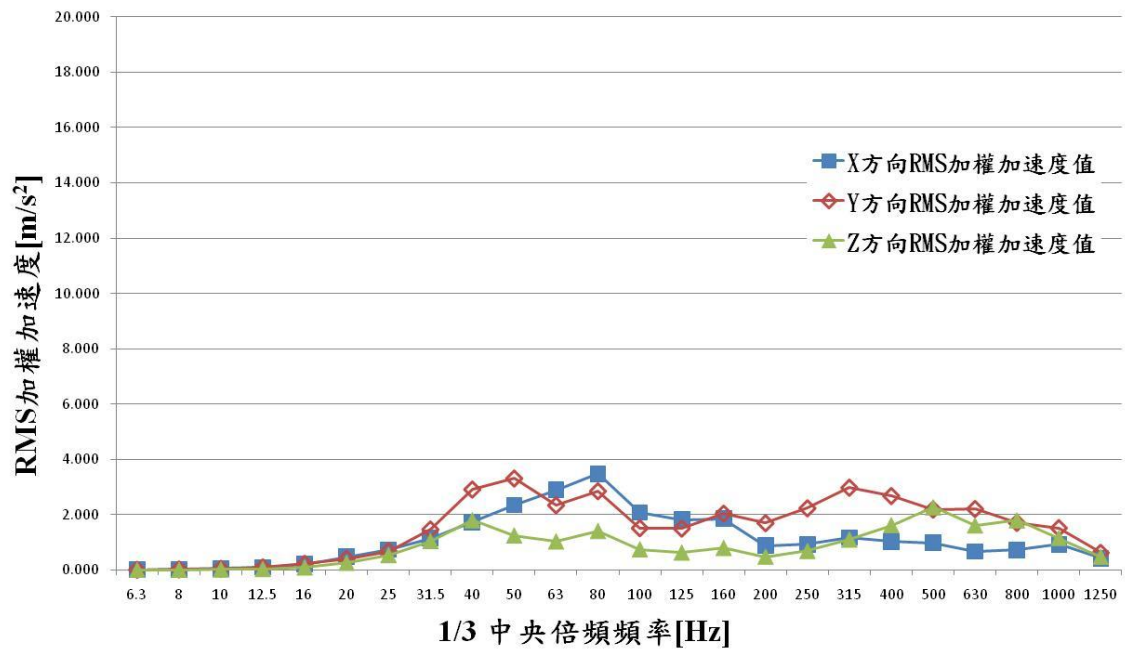


圖 4-2 軟管式尼龍繩引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

軟管式尼龍繩引擎 6000rpm 三軸RMS加權加速度頻譜

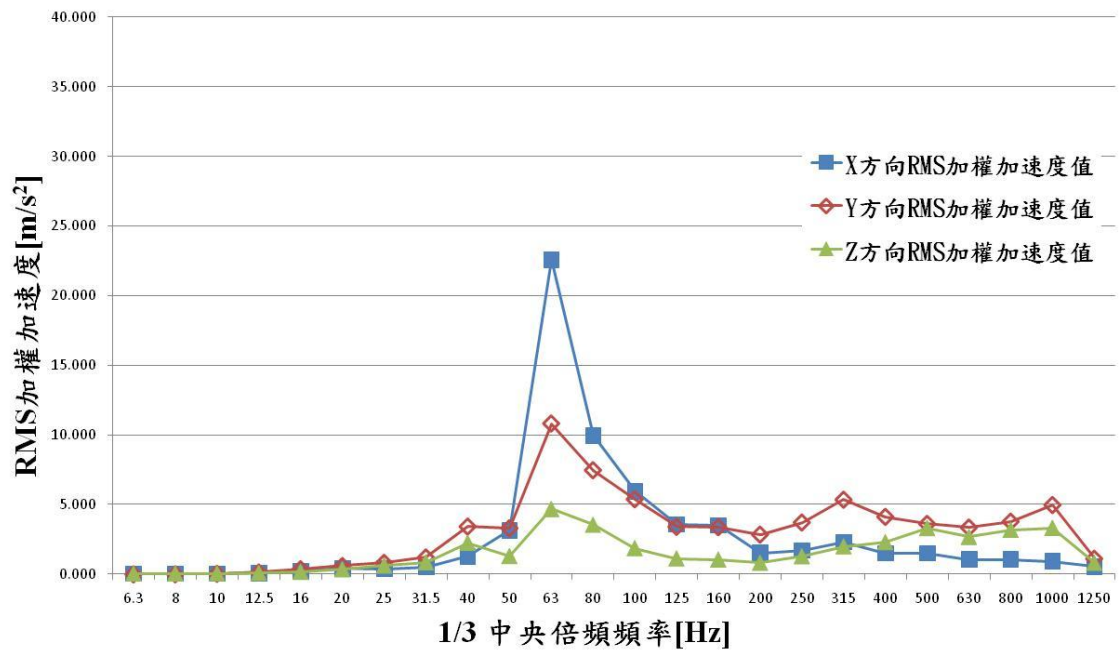


圖 4-3 軟管式尼龍繩引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

(2).軟管式二片刀

引擎轉速 3000、4500、6000 rpm 之 1/3 倍頻頻譜如圖 4-4~4-6 所示。引擎轉速為 3000 rpm 時，三軸 RMS 加權加速度頻譜有相同趨勢，加速度峰值集中在 50 Hz 處，最大振幅出現在 Y 方向的 1.492 m/s^2 ；引擎轉速為 4500 rpm 時，頻譜峰值並不一致，大約在 63~125 Hz 間，推測原因是因為引擎在此轉速下，使用二片刀除草時，也有刀片轉速減慢的現象，但減少程度比使用尼龍繩時小，因此，也產生不規則振動，使各軸峰值未落在同一頻率上，其振幅最大值为 Y 方向 125 Hz 處的 8.809 m/s^2 ，大於引擎轉速為 3000 rpm 之振幅；引擎轉速為 6000 rpm 時，三軸 RMS 加權加速度頻譜有相同趨勢，頻譜峰值集中在 80 Hz 處，最大振幅為 X 方向的 39.459 m/s^2 。

綜合以上討論，三軸之加權加速度頻譜應有相同趨勢，峰值介在 50~125 Hz 間，振幅最大值則出現於 X 或 Y 方向，其值隨引擎轉速為增加，由 1.492 增加至 39.459 m/s^2 。

軟管式二片刀引擎3000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

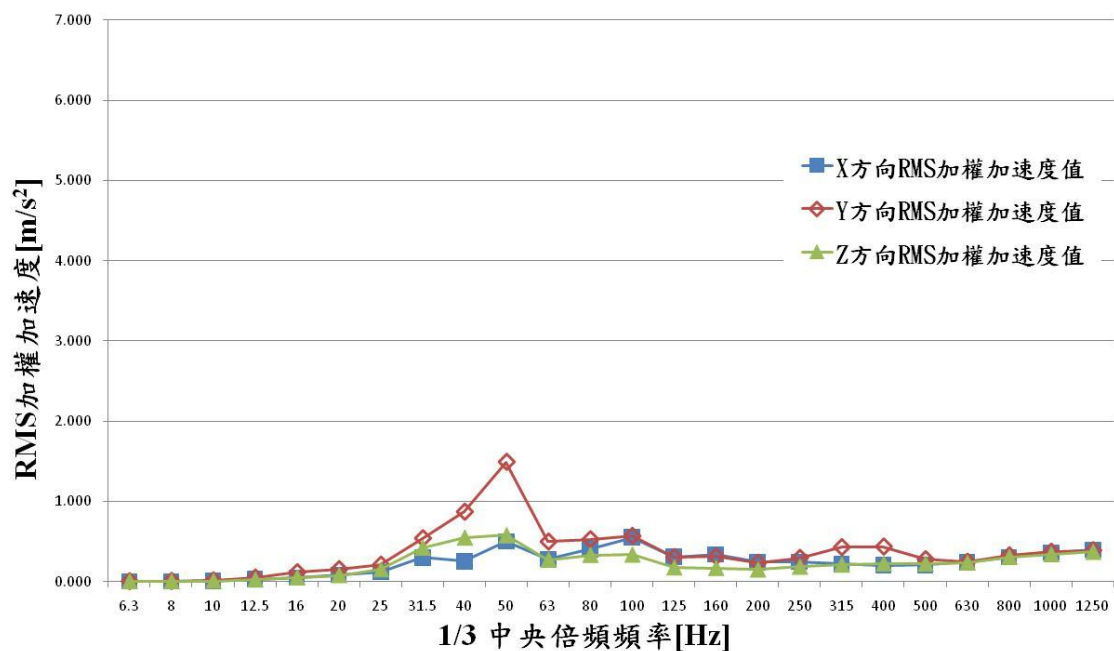


圖 4-4 軟管式二片刀引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

軟管式二片刀引擎4500rpm三軸RMS加權加速度頻譜

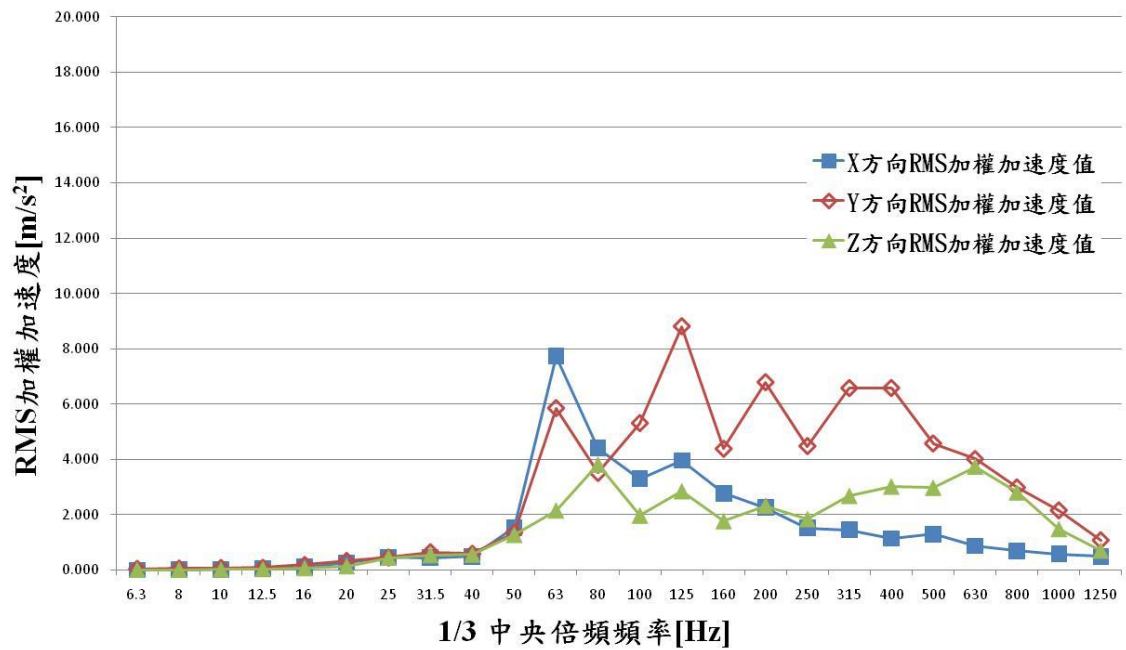


圖 4-5 軟管式二片刀引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

軟管式二片刀引擎6000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

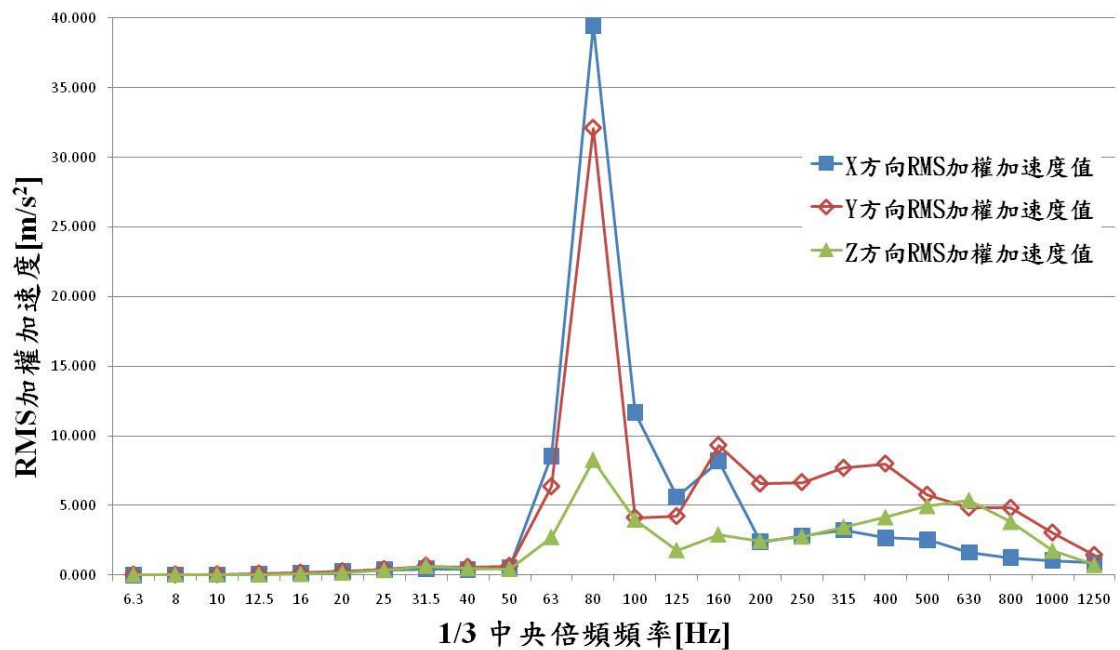


圖 4-6 軟管式二片刀引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

(3).硬管式尼龍繩

由於硬管式是雙手操作，故左右手均須量測，引擎轉速 3000、4500、6000 rpm 之 1/3 倍頻頻譜如圖 4-7~4-12 所示。引擎轉速為 3000 rpm 時，左右手三軸 RMS 加權加速度頻譜有相同趨勢，且加速度峰值集中在 63 Hz 處，雙手最大振幅皆出現在 Y 方向，分別是右手 6.362 m/s^2 與左手 5.914 m/s^2 ，但因第 11 組實驗之值遠小於其他兩組，故造成標準差極大，可藉由增加實驗組數改善；引擎轉速為 4500 rpm 時，其左右手之間彼此趨勢一致，但觀察頻譜發現，疑似有兩個峰值，分別在 80 Hz 與 315 Hz 處，推測可能原因是人為操作造成，因硬管式割草機其揹負方式，是位於身體的右側，相較於軟管式是將引擎揹負於背後，硬管式操作時，常有調整揹帶或是移動之情況，此部分也會影響振動量測振幅，故標準差變化大，雙手最大值皆在 Y 方向 80 Hz 處，分別是右手 10.561 m/s^2 、左手 8.159 m/s^2 ；引擎轉速為 6000rpm 時，雖左右手之頻譜有相同趨勢，但與引擎轉速 4500 rpm 有類似問題，其最大值皆位在 Y 方向 315 Hz 處，分別為右手 15.381 m/s^2 、左手 17.187 m/s^2

綜合以上討論，三軸之加權加速度應有相同趨勢，其峰值左右手雖有相同趨勢，但標準差變化大，使峰值難以確定，可能需增加實驗組數來降低誤差，振幅最大值皆 Y 方向，其值隨引擎轉速為增加，右手由 6.362 m/s^2 增加至 10.561 m/s^2 、左手由 5.914 m/s^2 增加至 17.187 m/s^2 。

硬管式尼龍繩右手引擎3000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

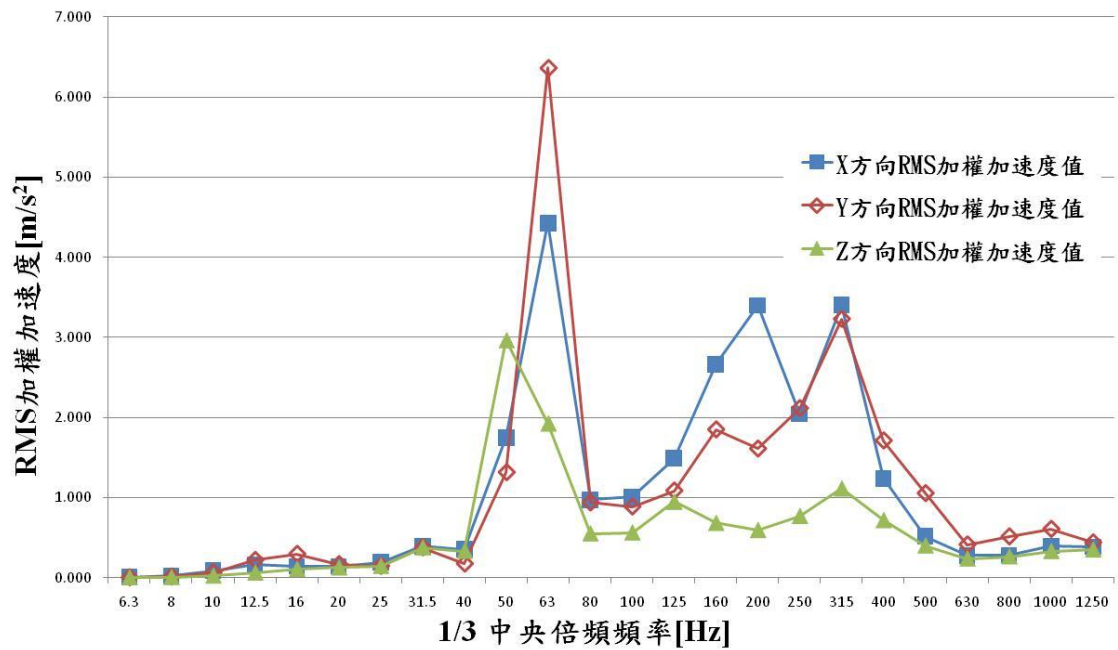


圖 4-7 硬管式尼龍繩右手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式尼龍繩左手引擎3000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

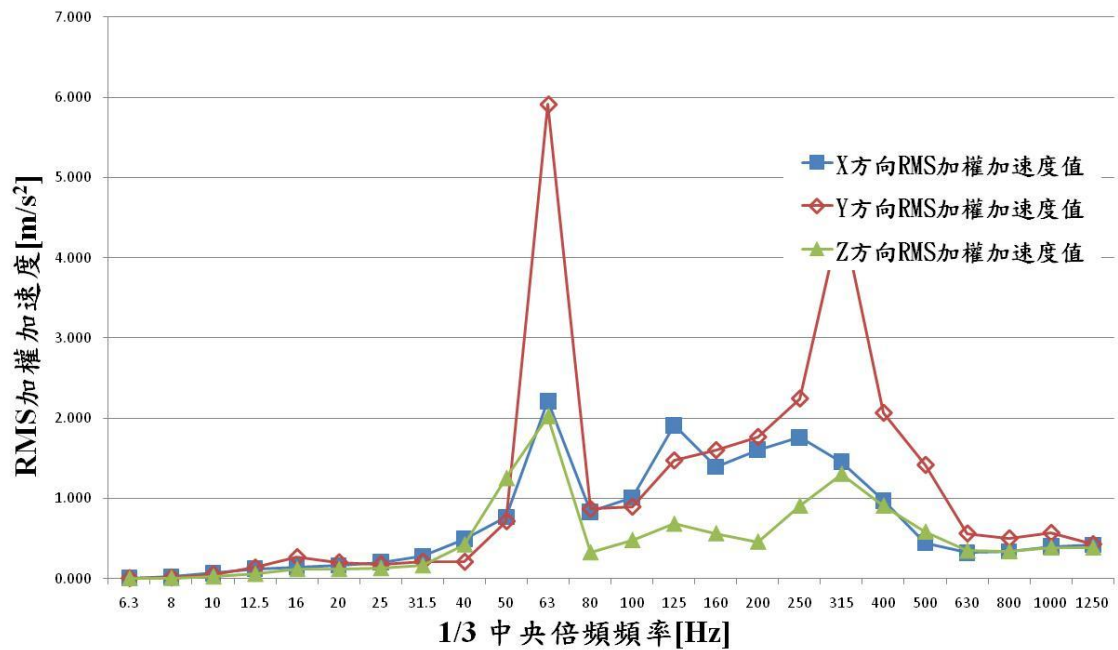


圖 4-8 硬管式尼龍繩左手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式尼龍繩右手引擎4500rpm三軸RMS加權加速度頻譜

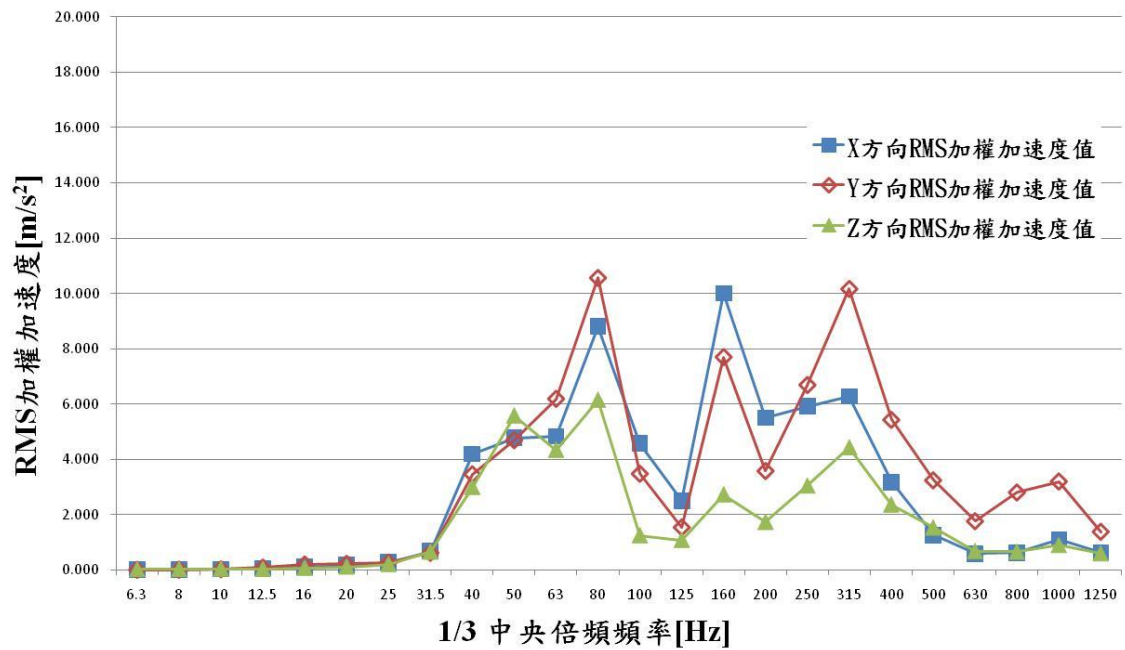


圖 4-9 硬管式尼龍繩右手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式尼龍繩左手引擎4500rpm三軸RMS加權加速度頻譜

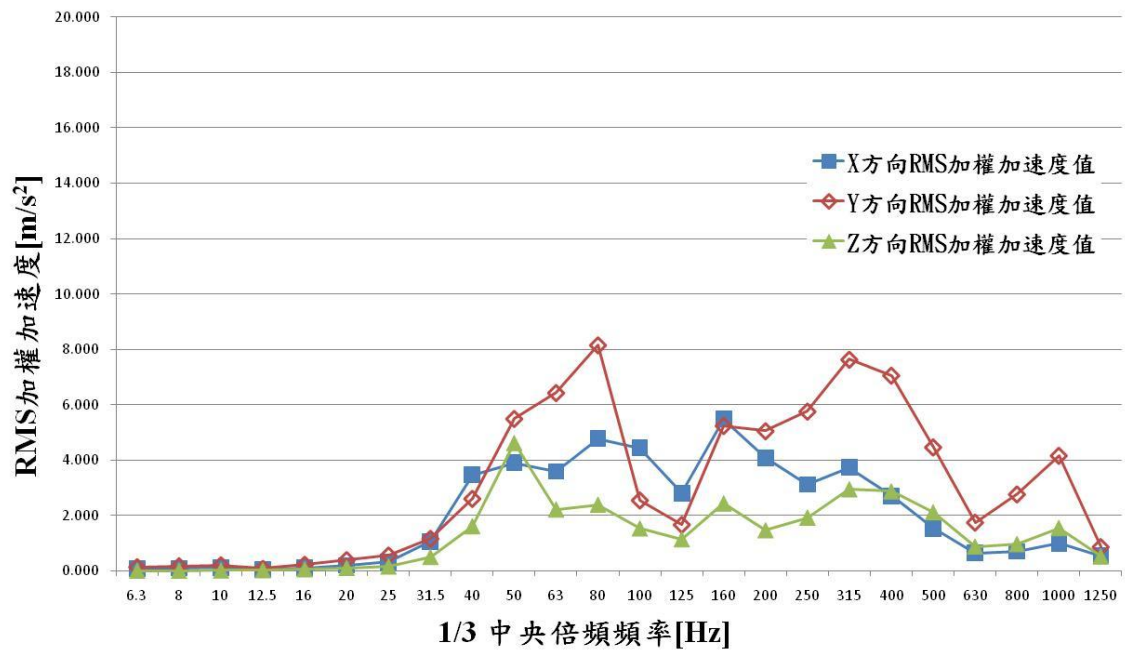


圖 4-10 硬管式尼龍繩左手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式尼龍繩右手引擎6000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

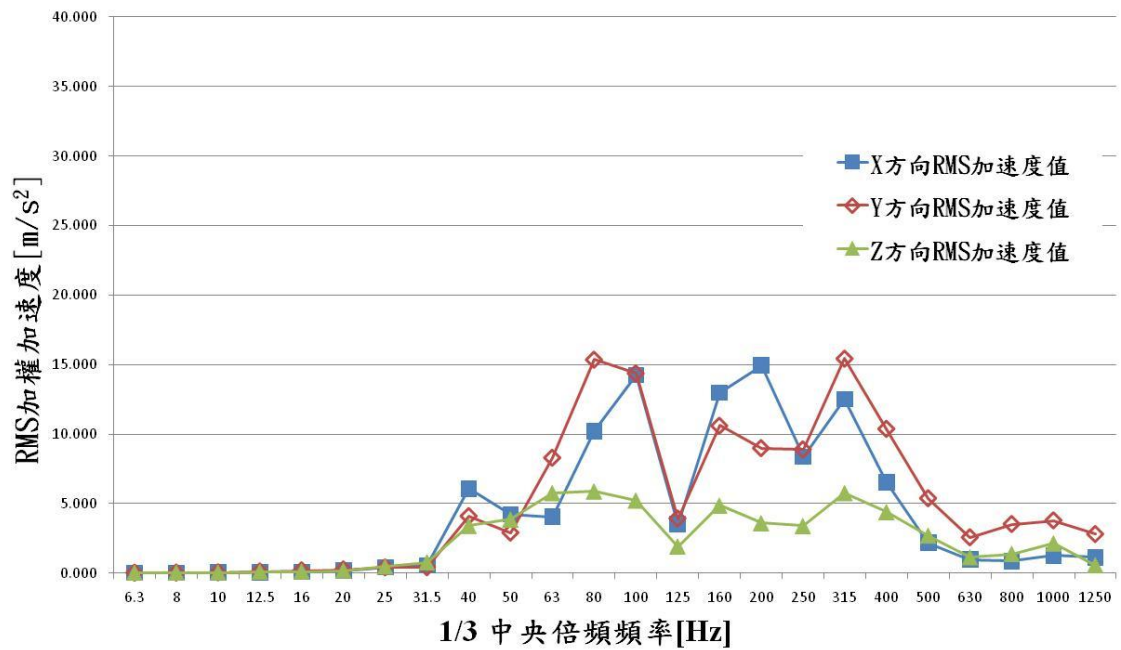


圖 4-11 硬管式尼龍繩右手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式尼龍繩左手引擎6000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

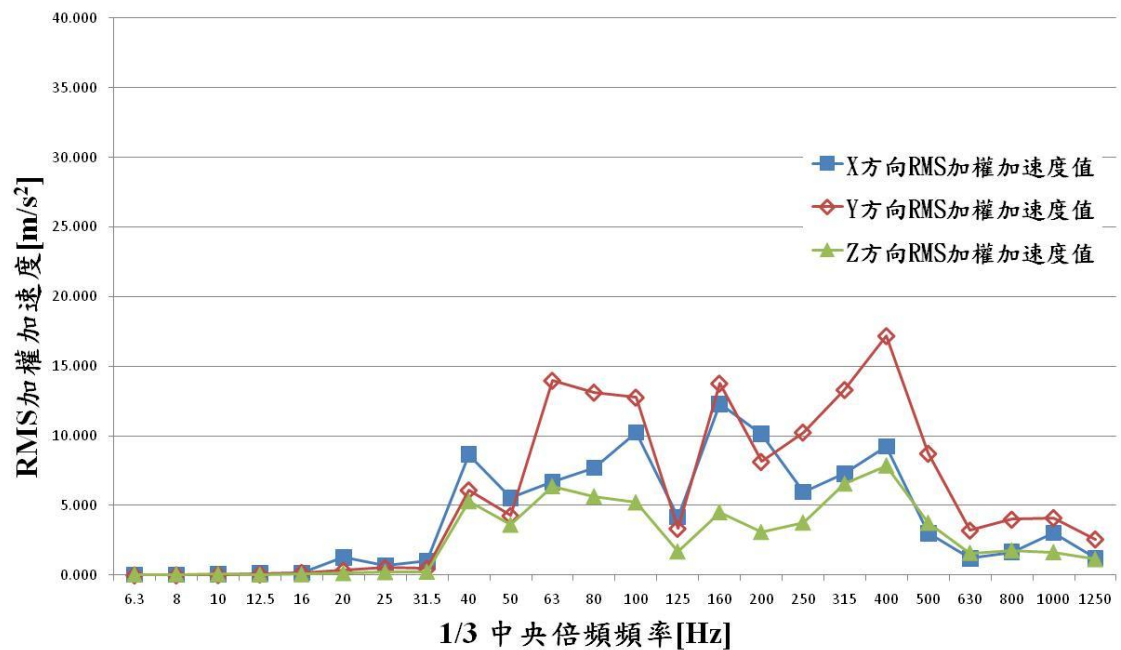


圖 4-12 硬管式尼龍繩左手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

(4).硬管式二片刀

左右手引擎轉速 3000、4500、6000 rpm 之 1/3 倍頻頻譜如圖 4-13~4-18 所示。引擎轉速為 3000 rpm 時，左右手三軸 RMS 加權加速度頻譜有相似趨勢，但峰值並不一致，右手引擎轉速為 3000 rpm 出現在 50 Hz 處，右手則出現在 315 Hz 處，最大振幅右手為 X 方向 50 Hz 處 5.613 m/s^2 ，左手為 Y 方向 315 Hz 處 3.665 m/s^2 ；引擎轉速為 4500 rpm 時，左右手頻譜分布也有相似趨勢，但與引擎轉速為 3000 rpm 相同，頻譜峰值並不一致，最大振幅右手為 X 方向 80 Hz 處 12.618 m/s^2 ，左手為 Y 方向 315 Hz 處 18.393 m/s^2 ；引擎轉速為 6000 rpm 時，雖左右手頻譜有相同趨勢，但與引擎 4500 rpm 有類似問題，峰值也並不一致，且最大振幅右手為 X 方向 200 Hz 處 25.306 m/s^2 ，左手為 X 方向 250 Hz 處 32.097 m/s^2 。

綜合以上討論，三軸之加權加速度應有相同趨勢，其峰值左右手雖有相同趨勢，但標準差變化大，使峰值難以確定，可能需增加實驗組數來降低誤差，振幅最大值皆在 Y 方向，其值隨引擎轉速增加而增加，右手由 5.613 m/s^2 增加至 25.306 m/s^2 、左手由 3.665 m/s^2 增加至 32.097 m/s^2 。

硬管式二片刀右手引擎3000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

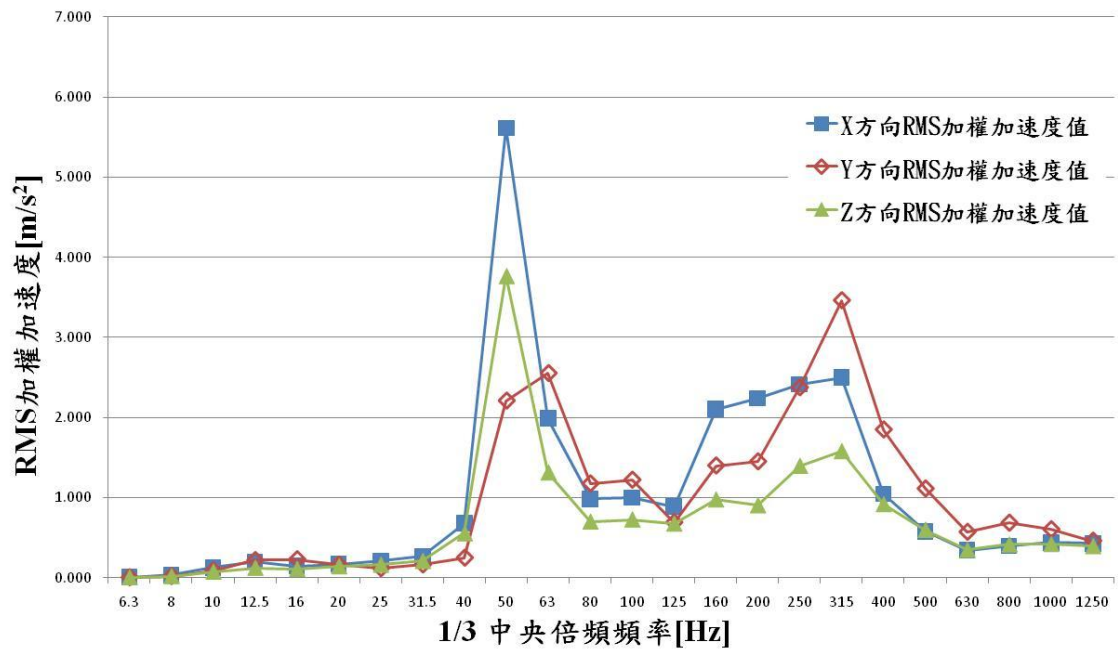


圖 4-13 硬管式二片刀右手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式二片刀左手引擎3000rpm軸RMS加權加速度頻譜

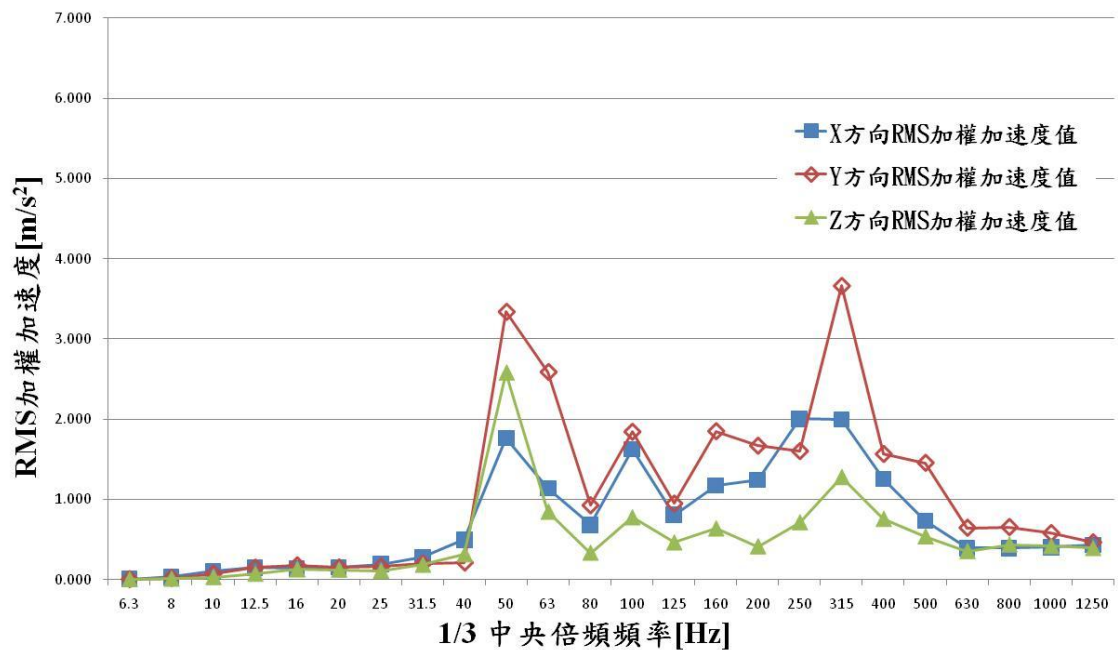


圖 4-14 硬管式二片刀左手引擎 3000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式二片刀右手引擎4500rpm三軸RMS加權加速度頻譜

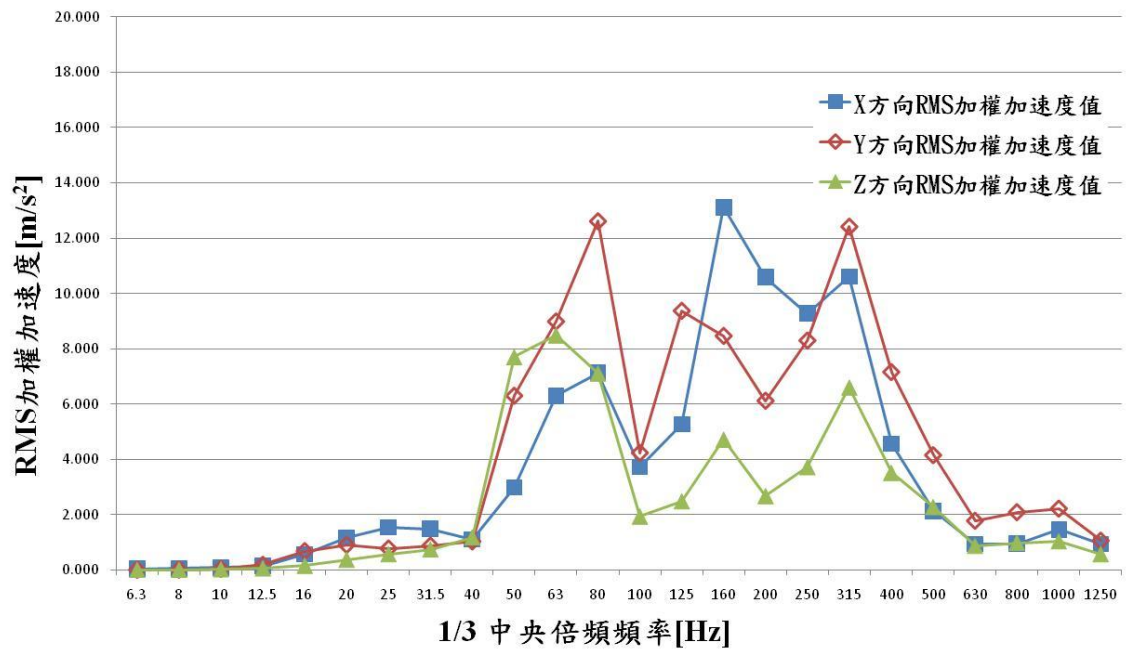


圖 4-15 硬管式二片刀右手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式二片刀左手引擎4500rpm三軸RMS加權加速度頻譜

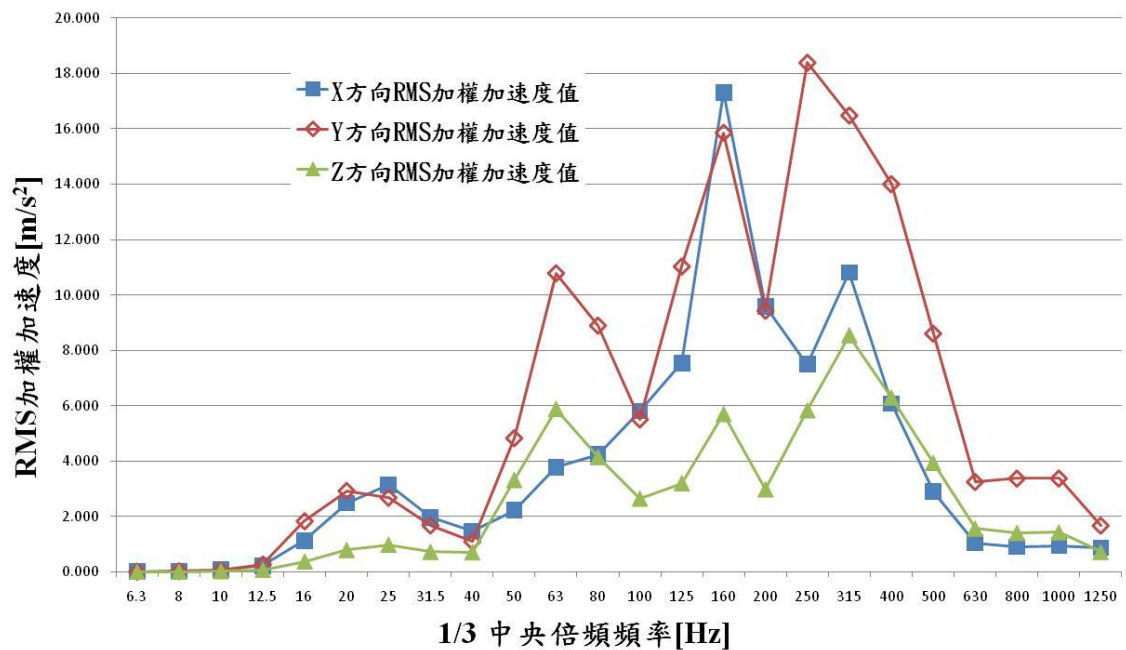


圖 4-16 硬管式二片刀左手引擎 4500rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式二片刀右手引擎6000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

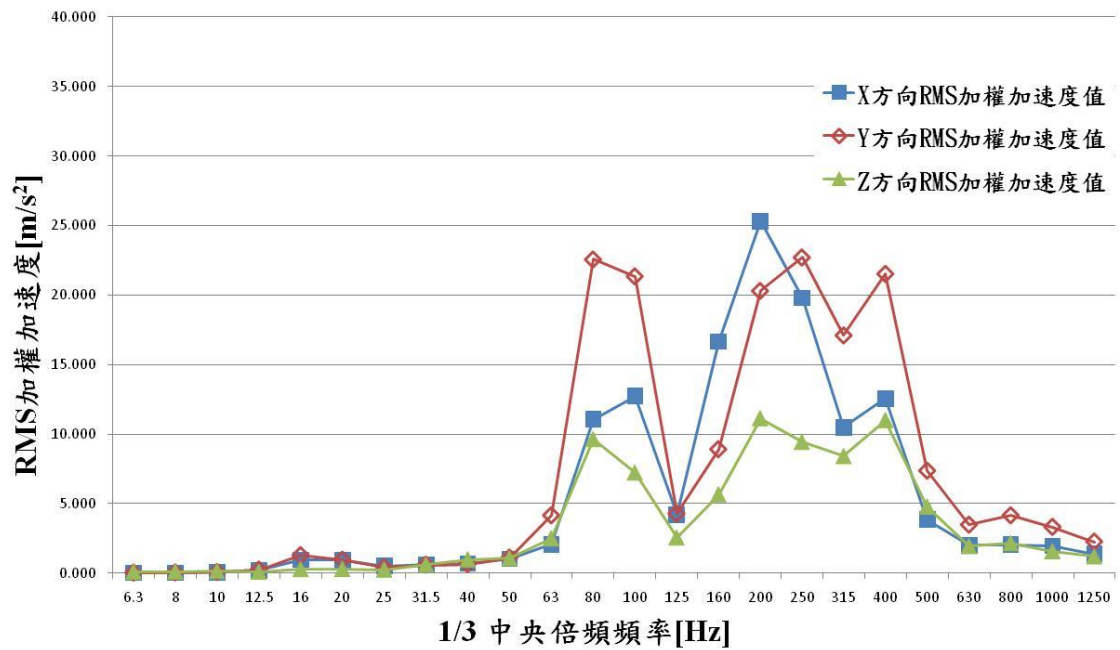


圖 4-17 硬管式二片刀右手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

硬管式二片刀左手引擎6000rpm三軸RMS加權加速度頻譜

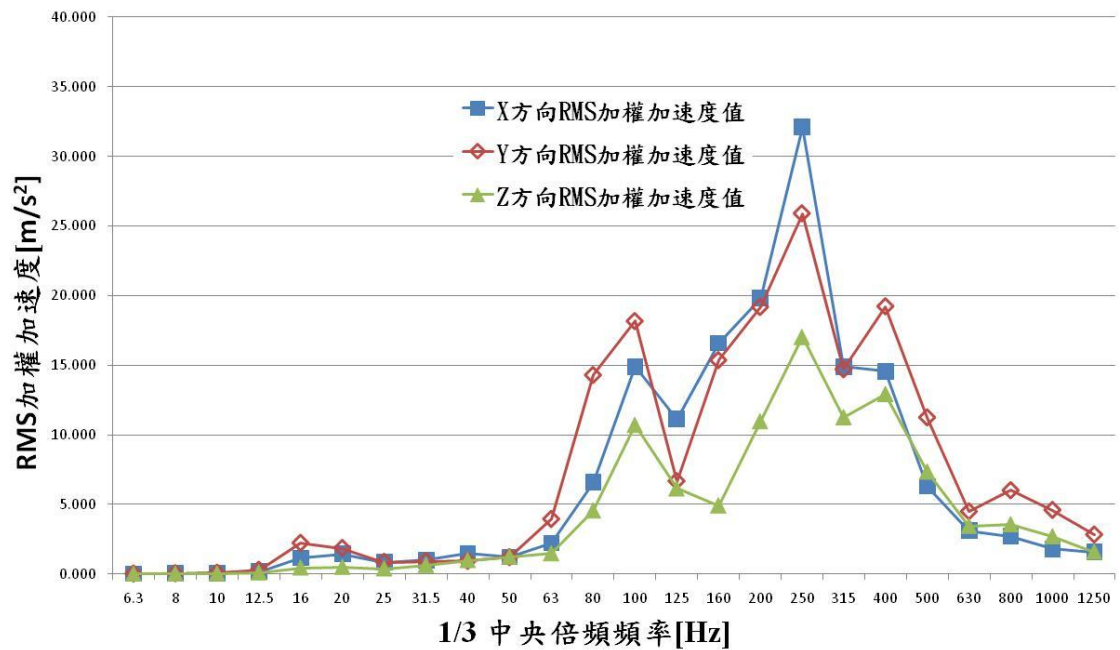


圖 4-18 硬管式二片刀左手引擎 6000rpm 三軸 RMS 加權加速度頻譜

4.1.2 國際規範之比較

(1).軟管式尼龍繩

各軸之 RMS 加權加速度與總加速度，如表 4-2~4-5 所示，在引擎轉速為 3000rpm 時，三組試驗最大軸向加速度皆在 Y 方向，其原因是傳動軸之軸心旋轉方向與手部振動量測座標之 X-Y 平面一致，最大加速度應出現在 X 或 Y 方向，與頻譜分析結果相符。最大軸向加速度為第九組實驗 Y 方向的 0.886 m/s^2 ，最大總加速度第九組實驗的 1.177 m/s^2 。而在引擎轉速為 4500 rpm 時，有相同結果，最大軸向加速度為第九組實驗 Y 方向的 2.690 m/s^2 ，最大總加速度第九組實驗的 3.764 m/s^2 ；引擎轉速為 6000 rpm 時，最大軸向加速度則是出現在 X 方向，也為合理的結果，最大軸向加速度是第五組實驗的 7.000 m/s^2 ，最大總加速度第五組實驗的 8.411 m/s^2 。

表 4-2 軟管式尼龍繩 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第一組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第五組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第九組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	平均 RMS 加速度[m/s^2]	變異 係數
3000	0.155	0.477	0.525	0.386 ± 0.201	0.521
4500	1.511	1.879	2.273	1.888 ± 0.381	0.202
6000	5.766	7.000	6.518	6.428 ± 0.622	0.097

表 4-3 軟管式尼龍繩 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第一組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第五組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第九組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	平均 RMS 加速度[m/s^2]	變異 係數
3000	0.794	0.771	0.886	0.817 ± 0.061	0.074
4500	1.667	2.108	2.690	2.155 ± 0.513	0.238
6000	3.657	4.076	4.169	3.967 ± 0.273	0.069

表 4-4 軟管式尼龍繩 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第五組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第九組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.386	0.487	0.562	0.478 ± 0.089	0.185
4500	1.103	1.171	1.323	1.199 ± 0.113	0.094
6000	1.416	2.225	2.076	1.906 ± 0.430	0.226

表 4-5 軟管式尼龍繩總加速度

引擎轉速 [rpm]	第一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第五組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第九組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.900 ± 0.160	1.035 ± 0.062	1.177 ± 0.169	1.036 ± 0.136	0.135
4500	2.510 ± 0.120	3.082 ± 0.381	3.764 ± 0.316	3.118 ± 0.629	0.202
6000	6.980 ± 0.360	8.411 ± 0.304	8.028 ± 0.608	7.806 ± 0.742	0.095

關於實際除草時所產生振動暴露劑量估計，由式(2-8)計算可得日常八小時暴露量，由於勞工實地除草時，會依現場狀況控制油門開度，故除草時並非定速，所以其暴露劑量，應介在引擎轉速為 4500~6000 rpm 間。而由表 4-6、表 4-7 所得到之最大日常八小時暴露量，是第五組實驗引擎轉速為 6000 rpm 時的 7.28 m/s²，若以此做為勞工每日工作時數參考依據，則依歐盟規範，已超過限制閾值，雇主應限縮工作時數，使日常八小時暴露劑量低於 5.0 m/s²，每日建議之最大工作時數為 2.83 小時。而我國之規範是以最大軸向 RMS 加速度為依據，最大軸向加速度是第五組實驗的 7.000 m/s²。以表 2-5 的最大軸向加速度 8 m/s² 為基準，則每日工時為超過一小時、未滿兩小時。而 ISO 5349 內提供白指病罹患年數評估，可作為終身工作年數之依據，故依式(2-7)，終身可工作年數為 3.88 年。

表 4-6 軟管式尼龍繩引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第一組實驗	第五組實驗	第九組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	2.17	2.67	3.26	2.70
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	7.96	5.27	3.53	5.58
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	31.83	21.06	14.12	22.33
終身工作最大年數[year]	13.98	11.23	9.09	11.10

表 4-7 軟管式尼龍繩引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第一組實驗	第五組實驗	第九組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	6.04	7.28	6.95	6.76
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	1.03	0.71	0.78	0.84
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	4.11	2.83	3.10	3.35
終身工作最大年數[year]	4.72	3.88	4.07	4.19

總結以上討論，軟管式尼龍繩之最大軸向加速度出現在 X 或 Y 方向，其值隨轉速增加而增大，X 方向由 0.386 m/s² 增至 6.428 m/s²，Y 方向由 0.817 m/s² 增至 3.964 m/s²，Z 方向 0.468 m/s² 增至 1.906 m/s²，顯示引擎轉速為增加，對 X 方向 RMS 加權加速度的影響較大。而總加速度基本上也與引擎轉速為有正相關，其值介在 1.036 m/s² 與 7.806 m/s² 之間。

而日常八小時暴露量介在 2.17 m/s² 至 7.28 m/s² 之間。若以引擎轉速為 6000 rpm 之暴露量平均值，做為每日最大工作時數的衡量依據，則依據歐盟標準，每日最大工作時數為 3.35 小時；而以我國之規範，最大平均軸向加速度為 X 方向引擎轉速為 6000 rpm 的 6.428 m/s²，故依表 2-5，每日工作時數為超過一小時、未滿二小時；以 ISO 5349 白指病預測函數，終身可工作之年數為 4.19 年。

(2).軟管式二片刀

各軸之 RMS 加權加速度與總加速度，如表 4-8 ~ 4-11 所示，在引擎轉速為 3000rpm 時，三組試驗最大軸向加速度皆在 Y 方向，其最大軸向加速度為第六組實驗 Y 方向的 0.957 m/s^2 ，最大總加速度第六組實驗的 1.082 m/s^2 ；引擎轉速為 4500 rpm 時，最大值出現在第二組實驗之 X 方向的 4.369 m/s^2 ，但考慮其平均值與標準差，此數據明顯較大，故推測其最大軸向加速度應出現在 Y 方向，而最大總加速度則為第二組實驗為 5.613 m/s^2 ；在引擎轉速為 6000 rpm 時，最大軸向加速度則是出現在 X 方向，也是合理的結果，最大軸向加速度是第十組實驗 X 方向的 9.758 m/s^2 ，最大總加速度第十組實驗的 12.581 m/s^2 。

表 4-8 軟管式二片刀 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第二組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第六組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第十組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	平均 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	變異 係數
3000	0.477	0.281	0.253	0.337 ± 0.122	0.362
4500	4.369	1.078	2.062	2.503 ± 1.689	0.675
6000	7.698	8.844	9.758	8.767 ± 1.032	0.118

表 4-9 軟管式二片刀 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第二組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第六組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第十組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	平均 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	變異 係數
3000	0.771	0.957	0.533	0.754 ± 0.213	0.282
4500	2.676	2.685	2.324	2.562 ± 0.206	0.080
6000	5.628	8.116	7.568	7.104 ± 1.307	0.184

表 4-10 軟管式二片刀 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第二組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第六組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第十組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	平均 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	變異 係數
3000	0.424	0.415	0.404	0.414 ± 0.010	0.025
4500	1.403	1.359	1.247	1.336 ± 0.080	0.060
6000	1.898	2.323	2.210	2.144 ± 0.220	0.103

表 4-11 軟管式二片刀 RMS 總加速度

引擎轉速 [rpm]	第二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第六組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	1.003 ± 0.039	1.082 ± 0.149	0.716 ± 0.253	1.072 ± 0.192	0.179
4500	5.316 ± 1.263	3.301 ± 0.281	3.353 ± 0.279	4.054 ± 1.148	0.283
6000	9.735 ± 0.829	12.264 ± 2.212	12.581 ± 1.889	8.725 ± 1.559	0.179

實際除草時所產生振動暴露劑量估計，由表 4-12、4-13 所得到之最大日常八小時暴露量，是第十組實驗引擎轉速為 6000 rpm 時的 10.90 m/s²。若以此做為勞工每日工作時數參考依據，則依歐盟規範，已超過限制閾值，雇主應限縮工作時數，使日常八小時暴露劑量低於 5.0 m/s²。每日建議之最大工作時數為 1.26 小時。而我國規範是以最大軸向 RMS 加速度為依據，最大軸向加速度是第十組實驗的 9.758 m/s²，以表 2-5 的最大軸向加速度 12 m/s² 為基準，則每日工時為未滿一小時。而根據 ISO 5349 內提供白指病的預測年數，可作為終身工作年數之依據，故依式(2-7)，終身可工作年數為 2.53 年。

表 4-12 軟管式二片刀引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第二組實驗	第六組實驗	第十組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	4.60	2.86	2.90	3.46
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	1.77	4.59	4.45	3.60
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	7.08	18.35	17.79	14.41
終身工作最大年數[year]	6.30	10.44	10.27	8.54

表 4-13 軟管式二片刀引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第二組實驗	第六組實驗	第十組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	8.43	10.62	10.90	9.98
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.53	0.33	0.32	0.39
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	2.11	1.33	1.26	1.57
終身工作最大年數[year]	3.32	2.60	2.53	2.77

總結以上討論，軟管式二片刀最大軸向加速度出現在 X 或 Y 方向，其值隨轉速增加而增大，X 方向由 0.337 m/s² 增至 8.767 m/s²，Y 方向由 0.754 m/s² 增至 7.104 m/s²，Z 方向 0.414 m/s² 增至 2.144 m/s²，顯示引擎轉速增加，對 X 方向 RMS 加權加速度的影響較大。而總加速度基本上也與引擎轉速為有正相關，其值介在 1.072 m/s² 與 8.725 m/s² 之間。

而日常八小時暴露量介在 2.86 m/s² 至 10.90 m/s² 之間。若以引擎轉速為 6000 rpm 之暴露量平均值，做為每日最大工作時數的衡量依據，則依據歐盟標準，每日最大工作時數為 1.57 小時。而以我國之規範，最大平均軸向加速度為引擎轉速為 6000 rpm 時的 8.767 m/s²，故依表 2-5，每日工作時數為未滿一小時；以 ISO 5349 之白指病預測公式，終身可工作之年數為 2.77 年。

(3).硬管式尼龍繩

左右手各軸之 RMS 加權加速度與總加速度，如表 4-14 至 4-21 所示，在引擎轉速為 3000rpm 時，右手三組試驗最大軸向加速度在 Y 方向，第十一組之最大軸向加速度在 Z 方向，推測原因為可能量測時儀器方向設定錯誤，因 Z 方向的值 2.328 m/s²，接近其他兩組 Y 軸之實驗值，其最大軸向加速度為第七組實驗 Y 方向的 2.486 m/s²，最大總加速度第七組實驗的 3.164 m/s²；左手三組試驗最大軸向加速度也在 Y 方向，最大軸向加速度為第七組實驗 Y 方向的 2.914 m/s²，最大總加速度第七組實驗的 3.265 m/s²。

引擎轉速為 4500 rpm 時，右手軸向 RMS 加權加速度，在 X、Y 方向無顯著性的差異或是趨勢，其軸向加速度最大值為第七組實驗之 Y 方向的 4.125 m/s^2 ，最大總加速度第七組實驗為 6.733 m/s^2 ；左手軸向 RMS 加權加速度，則明顯 Y 方向較大，其軸向加速度最大值為第十一組實驗之 Y 方向的 4.083 m/s^2 ，最大總加速度為第三組實驗 5.240 m/s^2 ：

引擎轉速為 6000 rpm 時，右手三組試驗最大軸向加速度應在 Y 方向，但最大值是第三組實驗 X 方向的 7.883 m/s^2 ，與另兩組 X 方向之量測值有明顯差異，故右手最大最大軸向加速度推測為 Y 方向，最大總加速度第三組實驗的 10.598 m/s^2 ；左手三組實驗最大軸向加速度，在 X、Y 方向也無明顯差異，但最大值是第七組實驗 X 方向的 8.533 m/s^2 ，最大總加速度第七組實驗的 12.188 m/s^2 。

表 4-14 硬管式尼龍繩右手 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第七組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第十一組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	平均 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	變異 係數
3000	1.805	1.855	1.187	1.616 ± 0.372	0.230
4500	3.462	4.100	3.450	3.671 ± 0.372	0.101
6000	7.833	4.844	4.386	5.687 ± 1.872	0.329

表 4-15 硬管式尼龍繩左手 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第七組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	第十一組實驗 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	平均 RMS 加速度 $[\text{m/s}^2]$	變異 係數
3000	0.895	1.151	0.744	0.930 ± 0.206	0.221
4500	2.997	2.842	2.522	2.787 ± 0.242	0.087
6000	4.002	8.533	6.248	6.261 ± 2.266	0.362

表 4-16 硬管式尼龍繩右手 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	2.378	2.486	0.857	1.907 ± 0.911	0.478
4500	3.414	4.125	3.848	3.796 ± 0.358	0.094
6000	5.711	5.715	6.135	5.854 ± 0.244	0.042

表 4-17 硬管式尼龍繩左手 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	1.744	2.914	0.594	1.751 ± 1.160	0.663
4500	3.673	3.590	4.038	3.767 ± 0.238	0.063
6000	5.777	6.954	6.416	6.382 ± 0.589	0.092

表 4-18 硬管式尼龍繩右手 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	1.051	0.618	2.328	1.332 ± 0.889	0.667
4500	2.251	3.383	3.134	2.923 ± 0.595	0.204
6000	4.139	2.417	3.761	3.439 ± 0.905	0.263

表 4-19 硬管式尼龍繩左手 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.772	0.903	0.965	0.880 ± 0.099	0.112
4500	2.171	2.122	1.535	1.943 ± 0.354	0.182
6000	2.528	4.917	3.506	3.650 ± 1.201	0.329

表 4-20 硬管式尼龍繩右手 RMS 總加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	3.171 ± 0.117	3.164 ± 0.054	2.751 ± 0.104	3.029 ± 0.241	0.079
4500	5.369 ± 0.370	6.733 ± 0.194	6.049 ± 0.543	6.051 ± 0.682	0.113
6000	10.598 ± 2.327	7.886 ± 0.567	8.507 ± 0.965	8.997 ± 1.421	0.158

表 4-21 硬管式尼龍繩左手 RMS 總加速度

引擎轉速 [rpm]	第三組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第七組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十一組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	2.114 ± 0.063	3.265 ± 0.245	1.362 ± 0.118	2.247 ± 0.958	0.427
4500	5.240 ± 0.490	5.060 ± 0.419	5.047 ± 1.284	5.116 ± 0.108	0.021
6000	7.528 ± 0.283	12.188 ± 2.515	9.661 ± 0.418	9.793 ± 2.333	0.238

實地除草時所產生振動暴露劑量，因為除草時是左右手同時使用，故計算時取雙手較大值為依據。表 4-22 至表 4-25 所得到之最大日常八小時暴露量，是第七組實驗右手引擎轉速 6000 rpm 時的 10.56 m/s²。若以此做為勞工每日工作時數參考依據，則依歐盟規範，已超過限制閾值，雇主應限縮工作時數，使日常八小時暴露劑量低於 5.0 m/s²，每日建議之最大工作時數為 1.35 小時；而我國規範是以最大軸向 RMS 加速度為依據，最大軸向加速度是第七組實驗 X 方向的 8.533 m/s²，以表 2-5 的最大軸向加速度 12 m/s² 為基準，則每日工時為未滿一小時。而 ISO 5349 內提供白指病的罹患年數函數預測，可作為終身工作年數之依據，故依式(2-7)，終身可工作年數為 2.62 年。

表 4-22 硬管式尼龍繩右手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第三組實驗	第七組實驗	第十一組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	4.65	5.83	5.24	5.24
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	1.73	1.10	1.37	1.40
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	6.94	4.41	5.47	5.60
終身工作最大年數[year]	6.24	4.91	5.50	5.49

表 4-23 硬管式尼龍繩左手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第三組實驗	第七組實驗	第十一組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	4.54	4.38	4.37	4.43
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	1.82	1.95	1.96	1.91
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	7.28	7.81	7.85	7.65
終身工作最大年數[year]	6.40	6.64	6.66	6.56

表 4-24 硬管式尼龍繩右手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第三組實驗	第七組實驗	第十一組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	9.18	6.83	7.37	7.79
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.45	0.80	0.69	0.65
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	1.78	3.22	2.76	2.59
終身工作最大年數[year]	3.03	4.15	3.83	3.61

表 4-25 硬管式尼龍繩左手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第三組實驗	第七組實驗	第十一組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	6.52	10.56	8.37	8.48
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.88	0.34	0.54	0.58
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	3.53	1.35	2.14	2.34
終身工作最大年數[year]	4.36	2.62	3.35	3.30

總結以上討論，硬管式尼龍繩最大軸向加速度出現在 X 或 Y 方向，其值隨轉速增加而增大，右手 X 方向由 1.616 m/s² 增至 5.687 m/s²，Y 方向由 1.907 m/s² 增至 5.854 m/s²，Z 方向 1.332 m/s² 增至 3.439 m/s²，顯示引擎轉速增加，對 X、Y 方向 RMS 加權加速度的影響程度是相似的。而總加速度也與引擎轉速有正相關，其值介在 3.029 m/s² 與 8.997 m/s² 之間；左手 X 方向由 0.930 m/s² 增至 6.261 m/s²，Y 方向由 1.751 m/s² 增至 6.382 m/s²，Z 方向 0.880 m/s² 增至 3.650 m/s²，顯示引擎轉速增加，對 X、Y 方向 RMS 加權加速度的影響程度是相似的。總加速度與引擎轉速有正相關，其值介在 2.247 m/s² 與 9.793 m/s² 之間。

基本上，硬管式割草機是一對稱式的割草機，故左右手之振動量理論上應該相同，但受揹負方式、握力等因素影響，或多或少有部分差距，但由觀察實驗結果，左右手差異並不大。

而日常八小時暴露量介在 4.37 m/s² 至 10.56 m/s² 之間。若以引擎轉速為 6000 rpm 之暴露量平均值，做為每日最大工作時數的衡量依據，則依據歐盟標準，每日最大工作時數為 2.34 小時。以我國規範，最大平均軸向加速度為引擎轉速為 6000 rpm 時的 8.533 m/s²，故依表 2-5，每日工作時數為未滿一小時；以 ISO 5349 之白指病預測函數，終身可工作之年數為 3.30 年。

(4).硬管式二片刀

左右手各軸之 RMS 加權加速度與總加速度，如表 4-26 至 4-33 所示，在引擎轉速為 3000rpm 時，右手三組試驗最大軸向加速度在 X 方向，最大軸向加速度為第十二組實驗 X 方向的 2.575 m/s^2 ，最大總加速度第十二組實驗的 3.637 m/s^2 ；左手三組試驗最大軸向加速度在 Y 方向，最大軸向加速度為第八組實驗 Y 方向的 1.846 m/s^2 ，最大總加速度第八組實驗的 2.640 m/s^2 。

引擎轉速為 4500 rpm 時，右手軸向 RMS 加權加速度與三組試驗最大軸向加速度皆在 Y 方向，其軸向加速度最大值為第四組實驗之 Y 方向的 5.507 m/s^2 ，最大之總加速度第四組實驗為 7.595 m/s^2 ；左手軸向 RMS 加權加速度與三組試驗最大軸向加速度皆在 Y 方向，其軸向加速度最大值為第四組實驗之 Y 方向的 6.481 m/s^2 ，最大之總加速度第四組實驗為 8.406 m/s^2 ；

引擎轉速為 6000 rpm 時，右手三組試驗最大軸向加速度在 Y 方向，軸向最大加速度為第四組實驗之 Y 方向的 7.759 m/s^2 ，最大總加速度第四組實驗的 9.216 m/s^2 ；左手三組試驗最大軸向加速度，在 X、Y 方向也無明顯差異，但最大值是第十二組實驗 X 方向的 6.986 m/s^2 ，最大總加速度第十二組實驗的 9.406 m/s^2 。

表 4-26 硬管式二片刀右手 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s^2]	平均 RMS 加速度[m/s^2]	變異 係數]
3000	1.373	2.852	2.575	2.267 ± 0.786	0.347
4500	3.233	4.469	3.354	3.686 ± 0.682	0.185
6000	3.902	5.923	4.703	4.842 ± 1.018	0.210

表 4-27 硬管式二片刀左手 X 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.750	1.168	0.843	0.920 ± 0.219	0.238
4500	4.594	4.809	4.546	4.650 ± 0.140	0.030
6000	4.333	6.856	5.460	5.550 ± 1.264	0.228

表 4-28 硬管式二片刀右手 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	1.570	1.487	0.872	1.310 ± 0.381	0.291
4500	5.507	4.334	4.516	4.785 ± 0.632	0.132
6000	7.579	6.468	6.827	6.958 ± 0.567	0.082

表 4-29 硬管式二片刀左手 Y 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	1.787	1.846	1.314	1.649 ± 0.292	0.177
4500	6.481	5.763	5.834	6.026 ± 0.396	0.066
6000	6.423	5.030	6.986	6.146 ± 1.007	0.164

表 4-30 硬管式二片刀右手 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.797	1.272	2.415	1.495 ± 0.832	0.556
4500	4.099	3.579	4.178	3.952 ± 0.325	0.082
6000	3.485	2.438	3.246	3.057 ± 0.549	0.180

表 4-31 硬管式二片刀左手 Z 方向 RMS 加權加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	0.578	1.459	0.953	0.997 ± 0.442	0.444
4500	2.739	2.716	2.578	2.678 ± 0.087	0.033
6000	2.910	3.419	3.098	3.142 ± 0.257	0.082

表 4-32 硬管式二片刀右手 RMS 總加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	2.237 ± 0.196	3.468 ± 0.253	3.637 ± 0.25	3.114 ± 0.765	0.246
4500	7.595 ± 0.571	7.189 ± 0.285	7.035 ± 0.811	7.273 ± 0.290	0.040
6000	9.216 ± 0.308	9.113 ± 0.555	8.907 ± 0.154	9.079 ± 0.157	0.017

表 4-33 硬管式二片刀左手 RMS 總加速度

引擎轉速 [rpm]	第四組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第八組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	第十二組實驗 RMS 加速度[m/s ²]	平均 RMS 加速度[m/s ²]	變異 係數
3000	2.027 ± 0.121	2.640 ± 0.260	1.835 ± 0.123	2.167 ± 0.420	0.194
4500	8.406 ± 0.700	7.999 ± 0.436	7.846 ± 1.756	8.084 ± 0.290	0.036
6000	8.279 ± 0.308	9.189 ± 0.246	9.406 ± 0.905	8.958 ± 0.598	0.067

實地除草時所產生振動暴露劑量估計，因為除草時是左右手同時使用，故計算時取雙手較大值為依據。表 4-34 至表 4-37 所得最大日常八小時暴露量，是第十二組實驗左手引擎轉速為 6000 rpm 時的 8.15 m/s^2 ，若以此做為勞工每日工作時數參考依據，則依歐盟規範，已超過限制閾值，雇主應限縮工作時數，使日常八小時暴露劑量低於 5.0 m/s^2 ，每日建議之最大工作時數為 2.26 小時。而我國之規範是以最大軸向 RMS 加速度為依據，最大軸向加速度是第四組實驗右手 Y 方向的 9.216 m/s^2 ，以表 2-5 的最大軸向加速度 12 m/s^2 為基準，則每日工時為未滿一小時。而 ISO 5349 內提供白指病的預測年數，可作為終身工作年數之依據，故依式(2-7)，終身可工作年數為 3.57 年。

表 4-34 硬管式二片刀右手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第四組實驗	第八組實驗	第十二組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	6.58	6.23	6.09	6.30
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.87	0.97	1.01	0.95
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	3.47	3.87	4.04	3.79
終身工作最大年數[year]	4.32	4.58	4.68	4.52

表 4-35 硬管式二片刀左手引擎轉速為 4500 rpm 時之規範指標

	第四組實驗	第八組實驗	第十二組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	7.28	6.93	6.79	7.00
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.71	0.78	0.81	0.77
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	2.83	3.13	3.25	3.07
終身工作最大年數[year]	3.88	4.09	4.17	4.04

表 4-36 硬管式二片刀右手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第四組實驗	第八組實驗	第十二組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	7.98	7.89	7.71	7.86
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.59	0.60	0.63	0.61
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	2.35	2.41	2.52	2.43
終身工作最大年數[year]	3.52	3.56	3.65	3.57

表 4-37 硬管式二片刀左手引擎轉速為 6000 rpm 時之規範指標

	第四組實驗	第八組實驗	第十二組實驗	平均值
日常八小時暴露量 A(8)[m/s ²]	7.17	7.96	8.15	7.76
每日安全工作時數[hr] (行動閾值 2.5 m/s ²)	0.73	0.59	0.57	0.63
每日最大工作時數[hr] (限制閾值 5.0 m/s ²)	2.92	2.37	2.26	2.52
終身工作最大年數[year]	3.94	3.53	3.44	3.62

總結以上討論，硬管式二片刀最大軸向加速度基本上都在 Y 方向，其值隨轉速增加而增加，右手 X 方向由 2.267 m/s² 增至 4.482 m/s²，Y 方向由 1.310 m/s² 增至 6.958 m/s²，Z 方向 1.495 m/s² 增至 3.057 m/s²，顯示引擎轉速為增加，對 Y 方向 RMS 加權加速度的影響程度較大。而總加速度基本上也與引擎轉速為有正相關，其值介在 3.114 m/s² 與 9.079 m/s² 之間；左手 X 方向由 0.920 m/s² 增至 5.550 m/s²，Y 方向由 1.649 m/s² 增至 6.416 m/s²，Z 方向 0.997 m/s² 增至 3.142 m/s²，顯示引擎轉速為增加，對 X、Y 方向 RMS 加權加速度的影響程度是相似的。而總加速度基本上也與引擎轉速為有正相關，其值介在 2.167 m/s² 與 8.958 m/s² 之間。

日常八小時暴露量介在 6.09 m/s² 至 8.15 m/s² 之間。若以引擎轉速為 6000 rpm 之暴露量平均值，做為每日最大工作時數的衡量依據，則依據歐盟標準，每日最大工作時數為 2.43 小時。而以我國之規範，最大平均軸向加速度為引擎轉速為 6000 rpm 時的 9.793 m/s²，故依表 2-5，每日工作時數為未滿一小時。以 ISO 5349 之白指病預測公式，終身可工作之年數為 2.77 年。

4.1.3 實際除草與引擎空轉之比較

頻譜分析部分，引擎空轉時，軟管式尼龍繩峰值分佈於 63~80 Hz，二片刀峰值分佈於 63~100 Hz，隨著轉速增加，其峰值有向 80 Hz 集中之趨勢，與實際除草作業時的結果相符；而在硬管式尼龍繩部分，其峰值介在 50~250 Hz 間，且左右手在同轉速下峰值是相同的，但在 5000 rpm 處，左右手之頻譜皆無明顯峰值；硬管式二片刀峰值介在 50~400 Hz 之間，且轉速越高，峰值越往頻率高處移動，但在轉速在 5000~6000rpm 時，無明顯峰值。

而在總加速度部分，軟管式尼龍繩與二片刀之總加速度圖，如圖 4-19、4-20，總加速度基本上都隨著引擎轉速增加而上升。在使用尼龍繩部分，實際除草皆大於引擎空轉時的總加速度，但在使用二片刀時，實際除草的總加速度反而小於引擎空轉，觀察硬管式二片刀，也有類似的情況。

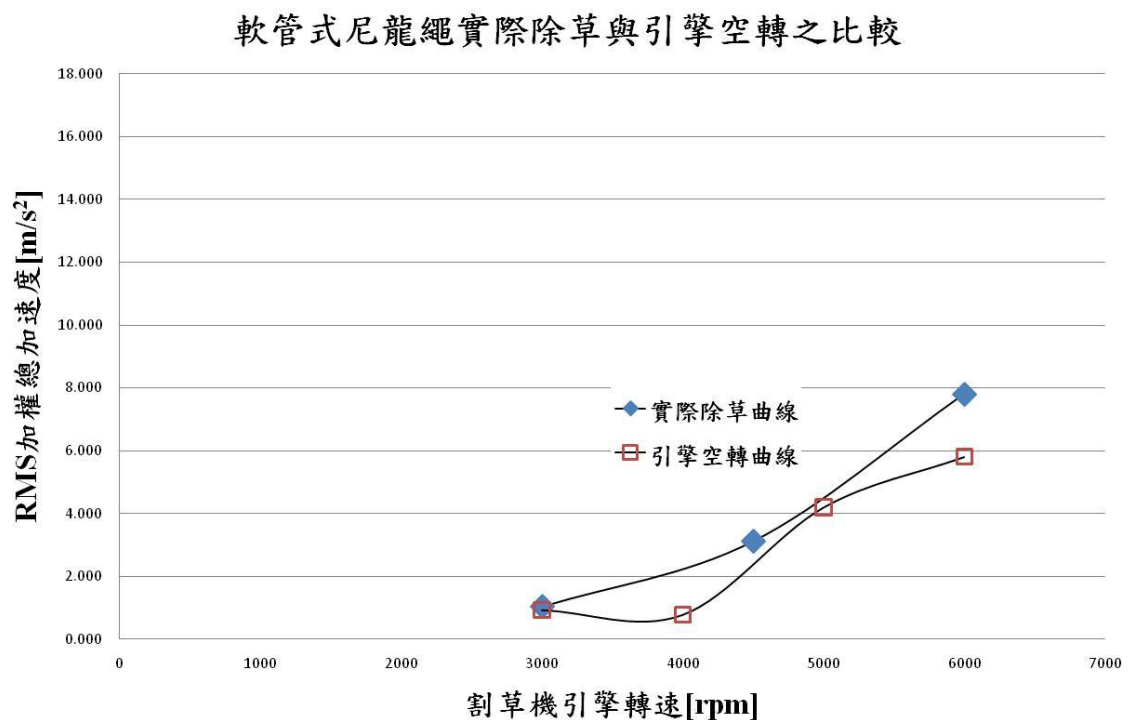


圖 4-19 軟管式尼龍繩實際除草與引擎空轉總加速度比較

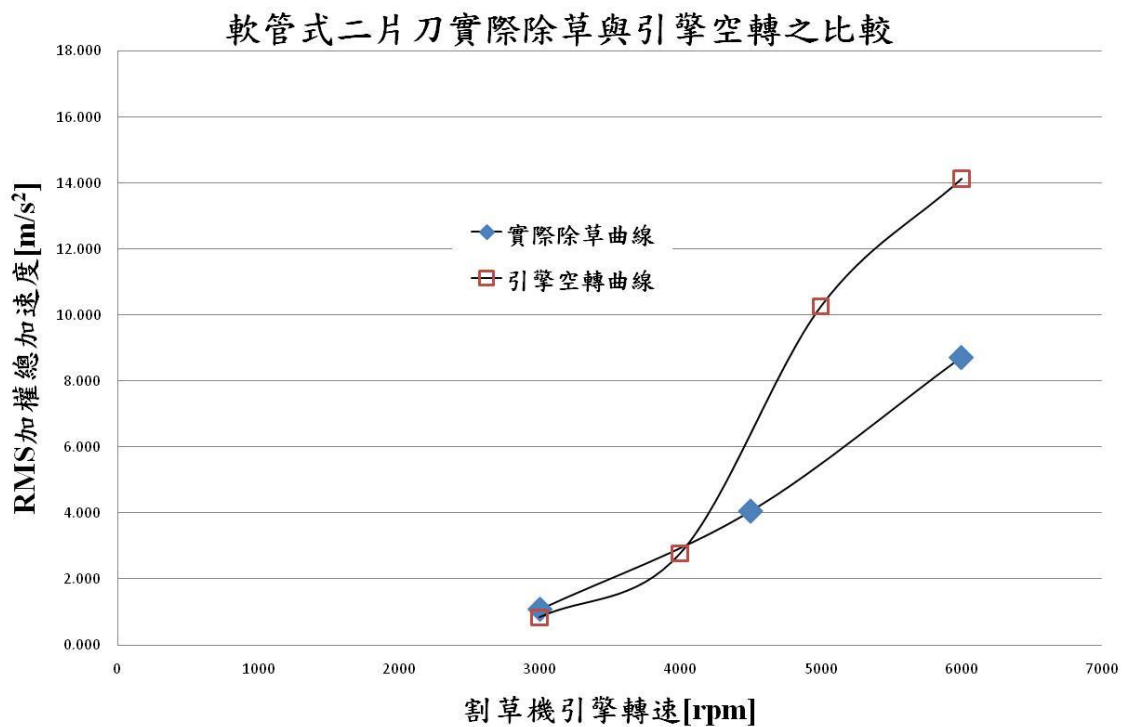


圖 4-20 軟管式二片刀實際除草與引擎空轉總加速度比較

硬管式部分，硬管式尼龍繩右手、左手之總加速度，如圖 4-21、4-22 所示。實際除草與引擎空轉的曲線有交叉，無法確認何者較大，但明顯發現在引擎轉速為 5000 rpm 時，總加速度有一峰值，且現場操作時，割草機振動也明顯較大。硬管式二片刀右手、左手之總加速度，如圖 4-23、4-24，實際除草時總加速度也小於引擎空轉。在總加速度部分，在引擎轉速為 5000 rpm 左右，也明顯有一峰值，在引擎轉速為 8000 rpm 時，則有一相對最小值，超過 8000 rpm，總加速度隨著轉速的增加而增加。但比對 Mitsubishi TB43 性能曲線，最大馬力出現在引擎轉速為 6500 rpm 處、而最大扭力則是在引擎 4000 rpm 處，推測並非引擎特性所造成，而與割草機本身設計有關。

硬管式尼龍繩右手實際除草與引擎空轉之比較

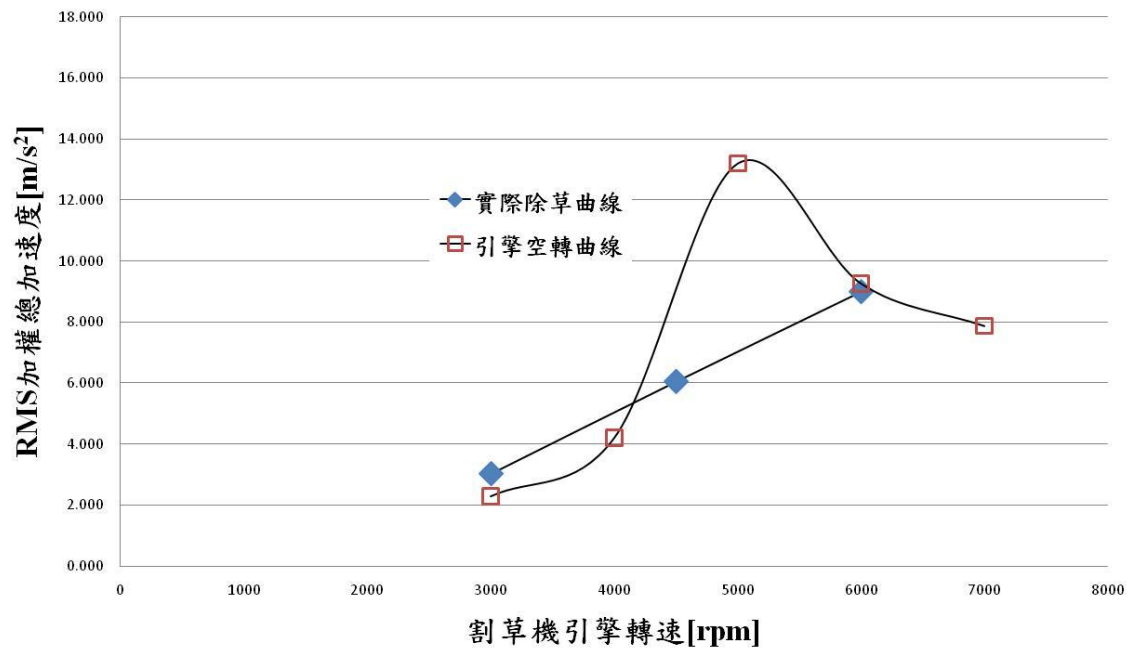
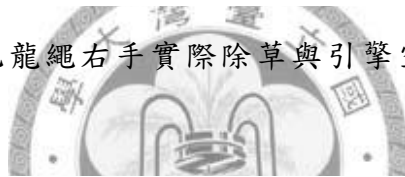


圖 4-21 硬管式尼龍繩右手實際除草與引擎空轉總加速度比較



硬管式尼龍繩左手實際除草與引擎空轉之比較

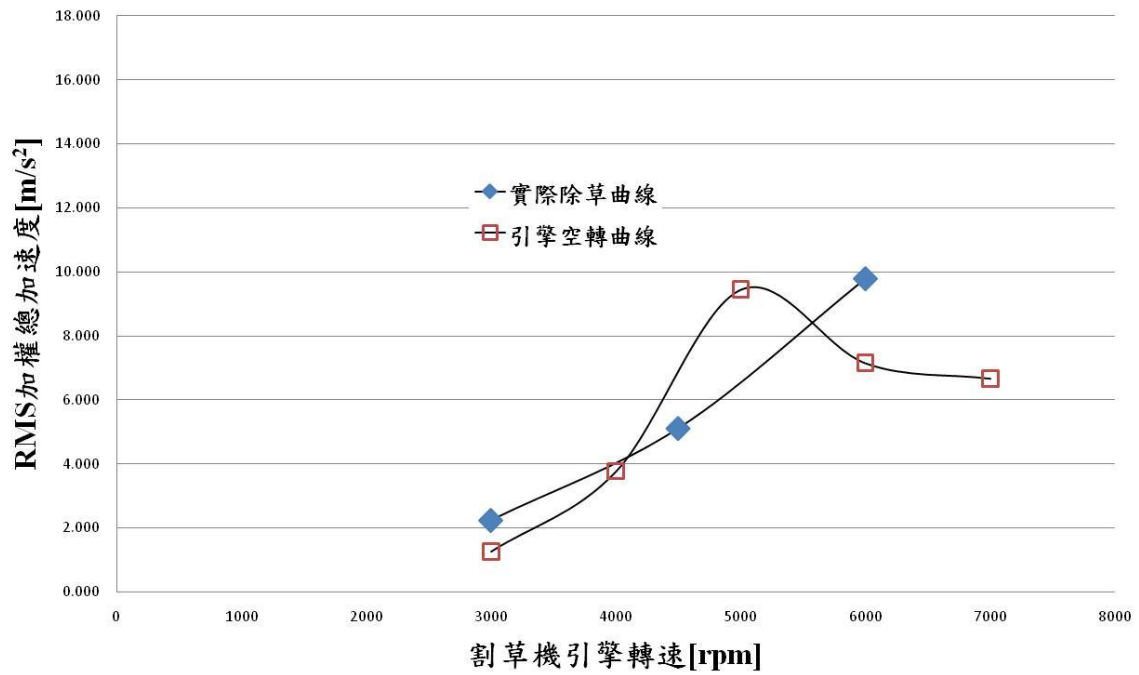


圖 4-22 硬管式尼龍繩左手實際除草與引擎空轉總加速度比較

硬管式二片刀右手實際除草與引擎空轉之比較

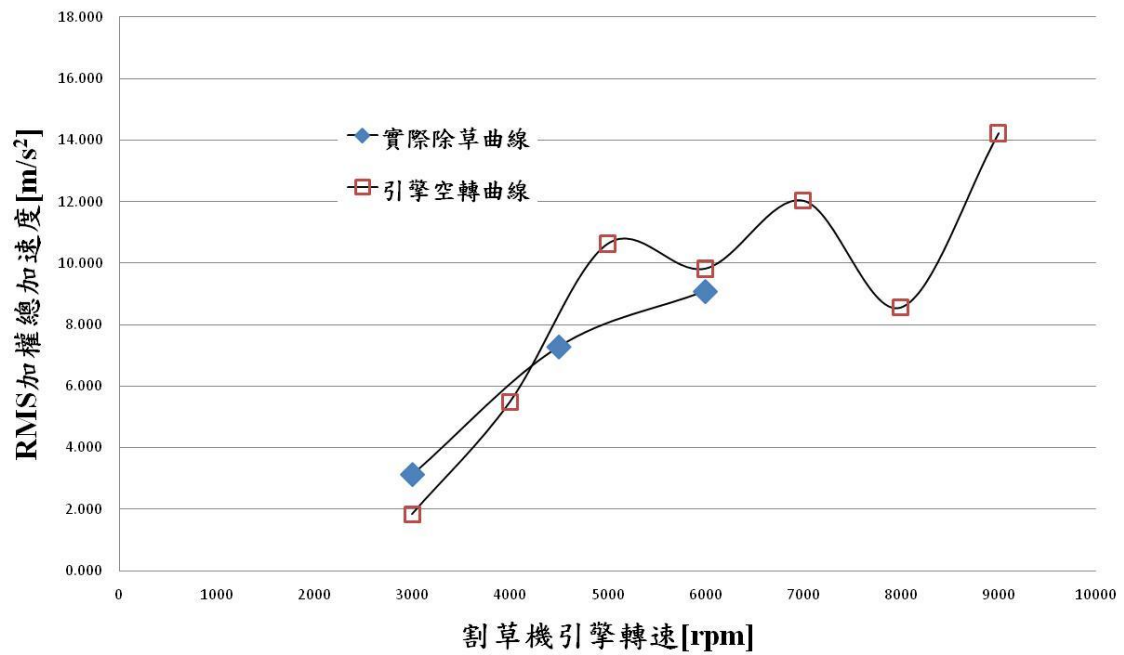
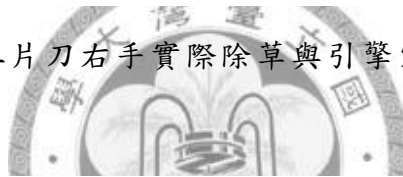


圖 4-23 硬管式二片刀右手實際除草與引擎空轉總加速度比較



硬管式二片刀右手實際除草與引擎空轉之比較

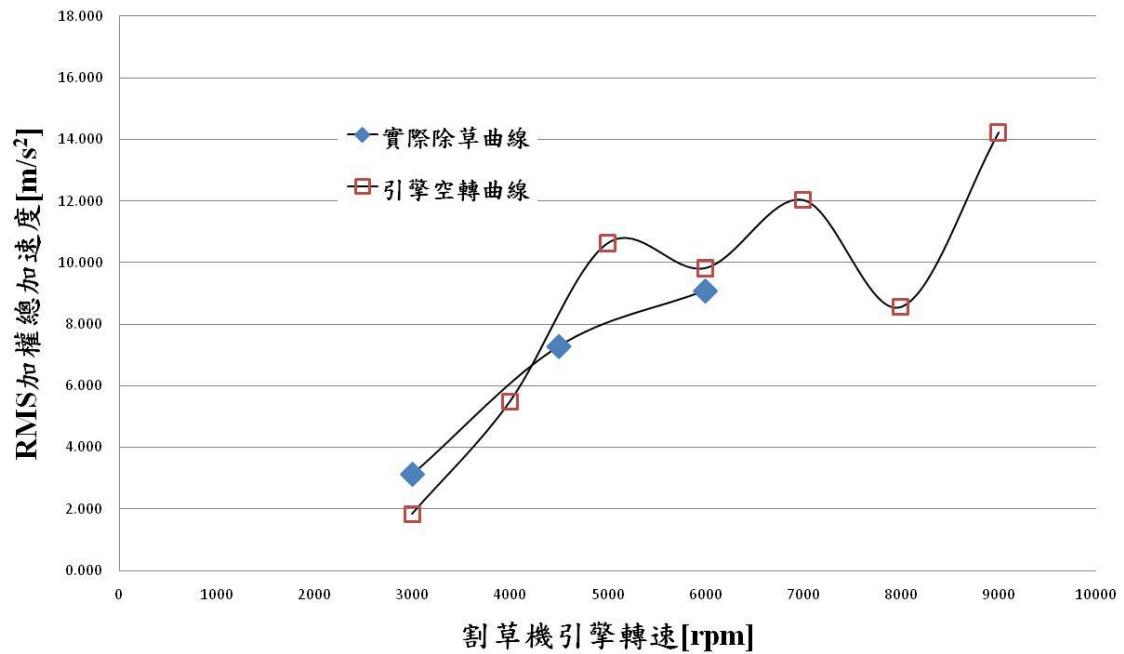


圖 4-24 硬管式二片刀左手實際除草與引擎空轉總加速度比較

4.1.4 總結

(1).1/3 倍頻頻譜分析

在軟管式尼龍繩或是二片刀，都有三軸 RMS 加權加速度頻譜集中且趨勢相同的現象，而在引擎轉速為 3000 rpm 時，使用不同刀片對於頻譜的影響差異不大，而在 4500 及 6000 rpm 時則有不同的頻譜特性，尼龍繩頻譜峰值介在 50~80 Hz 間，而振幅最大值則出現於 X 或 Y 方向，其值介於 1.962 m/s^2 和 22.582 m/s^2 之間；而二片刀頻譜介在 50~125 Hz 間，而振幅最大值則出現於 X 或 Y 方向，其值介於 1.492 m/s^2 和 39.459 m/s^2 之間。

而在硬管式部份，由於人為操作及量測因素，頻譜雖然左右手有類似趨勢，但在峰值部分，並未發現一致性及規律性，需透過增加實驗組數，來減低實驗之誤差。尼龍繩振幅之最大值皆在 Y 方向，其值右手介在 6.362 m/s^2 與 15.381 m/s^2 之間、左手介在 5.914 m/s^2 與 17.187 m/s^2 之間；二片刀振幅則是 X、Y 方向皆有，右手介在 5.613 m/s^2 與 25.306 m/s^2 之間、左手介在 3.665 m/s^2 與 32.097 m/s^2 之間。

(2).國際規範之比較

在軸向最大加速度部分，主要皆分佈 Y 方向或是 X 方向，其原因應是傳動軸軸心之旋轉方向剛好有手部量測座標的 X-Y 平面一致，總加速度與引擎轉速為有正相關性。而刀片對振動量的影響，在引擎轉速為 3000 rpm 時，不論使用尼龍繩或是二片刀，總加速度並沒有明顯差異性。在軟管式割草機，引擎轉速為 4500 與 6000 rpm 的情況下，使用二片刀之總加速度明顯大於尼龍繩。而對於硬管式割草機，也有類似趨勢，在引擎轉速為 3000 rpm 時，刀片對振動量並無明顯性的影響，引擎轉速為 4500，使用二片刀之總加速度明顯大於尼龍繩，但在引擎轉速為 6000 rpm 時，由於硬管式使用尼龍繩割草機之標準差太大，使此趨勢並不明顯，但基本

上仍能合理推論割草機使用二片刀之振動量大於使用尼龍繩。而在硬管式左右手振動量理論上應一致，但可能因操作姿勢、握力及作業環境等因素影響上而略有不同。至於割草機傳動方式不同對割草機之影響，由於本研究使用之割草機引擎並非同一廠牌型號，故無法直接比較。

在勞工安全規範方面，歐盟與我國皆有規範暴露於振動環境下之每日工時，歐盟主要是依據行動閾值與限制閾值評估每日振動暴露量；但若以行動閾值作為勞工工時依據，雖然大大降低暴露在振動環境之風險。但就實際層面而言，其可工作時數過短，並不利於一般之除草作業，故以限制閾值作為每日最大工時之參考依據，是較為適當的。而實際除草作業時，割草機並不是全時全速運轉，而是持續控制油門，調整引擎之轉速，故合理規畫每日最大工作時數，應是引擎低速與高速操作之總加速度平均，根據實驗結果計算，軟管式尼龍繩每日最大工作時數為 6.70 小時、軟管式二片刀每日最大工作時數為 4.90 小時、硬管式尼龍繩為 3.53 小時、硬管式二片刀 2.75 小時。

我國之法規是以最大軸向加速度為基準，若同樣以低速與高速平均軸向加速度值計算，則根據實驗結果，軟管式尼龍繩每日最大工作時數為二小時以上、未滿四小時，軟管式二片刀每日最大工作時數為二小時以上、未滿四小時，硬管式尼龍繩為二小時以上、未滿四小時，硬管式二片刀一小時以上、未滿二小時。其時數明顯低於歐盟的每日最大工作時數，原因是我國規範只有四級，每級涵蓋的範圍較大，在實際作業上，並不利於規畫，可能需重新檢視修訂此標準，使之更能精確反應每日工時。

ISO 5349 中白指病預測公式，可作為終身工作年數之參考依據，若同樣以低速與高速之平均值計算，則根據實驗結果，軟管式尼龍繩終身工作年數為 5.23 年、軟管式二片刀終身工作年數為 4.45 年、硬管式尼龍繩為 3.74 年、硬管式二片刀 3.28 年。

(3).實際除草與引擎空轉之比較

在頻譜部分，軟管式割草機頻譜峰值分佈在 63 ~ 100 Hz 間，且有向 80 Hz 集中之趨勢，而硬管式部分，則介在 50 ~ 400 Hz 間，基本上隨著引擎轉速為增加，峰值往頻率較高處移動，但在引擎轉速為 5000 rpm 處，則無明顯峰值。

而在總加速度比較部分，軟管式割草機之總加速度，隨著引擎轉速為增加而上升。而硬管式割草機則在引擎轉速為 5000 rpm 處有一峰值，而在 8000 rpm 處有一相對最小值，之後總加速度隨著引擎轉速為增加而上升。綜合頻譜部分分析，5000 rpm 可能是此硬管式割草機的共振頻率。

4.2 田口方法分析

4.2.1 數據分析

由於割草機之手—手臂振動對人體有害，故希望振動量越小越好，屬於田口方法望小特性，故以式(2-18)計算，其 S/N 比如表 4-38 所示。並以式(2-20)計算各因子變動水準對 S/N 比與品質特性的影響，其結果分別如圖 4-25、圖 4-26 所示。由因子反應圖發現，引擎轉速為對 S/N 比與振動量，影響最大，刀片種類次之，而割草機型式影響最小。

表 4-38 S/N 比實驗計算結果

Exp.	A	B	C	y ₁	y ₂	y ₃	Avg.	Std.	S/N
1	1	1	1	2.507	3.082	3.764	3.12	0.63	-10.05
2	1	2	2	9.735	12.264	12.581	11.53	1.56	-21.31
3	2	1	2	8.406	7.999	7.846	8.08	0.29	-18.16
4	2	2	1	7.528	12.188	9.661	9.79	2.33	-20.06
Avg.							8.13	1.20	-17.39

控制因子對S/N比反應圖

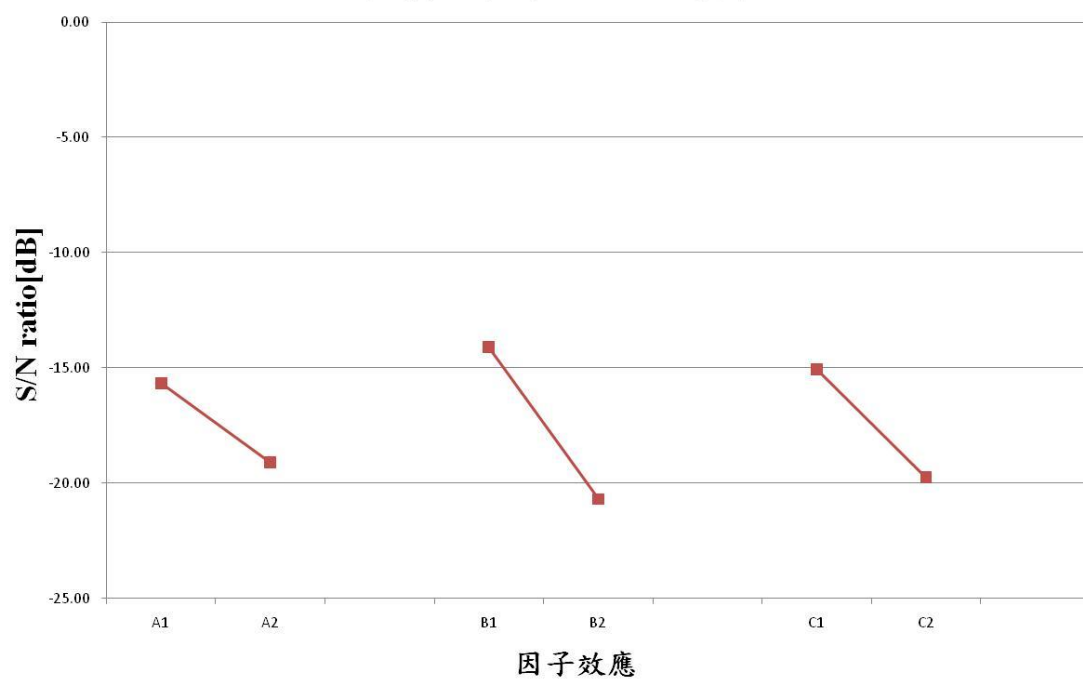


圖 4-25 因子變動對 S/N 比之反應



各因子對總加速度反應圖

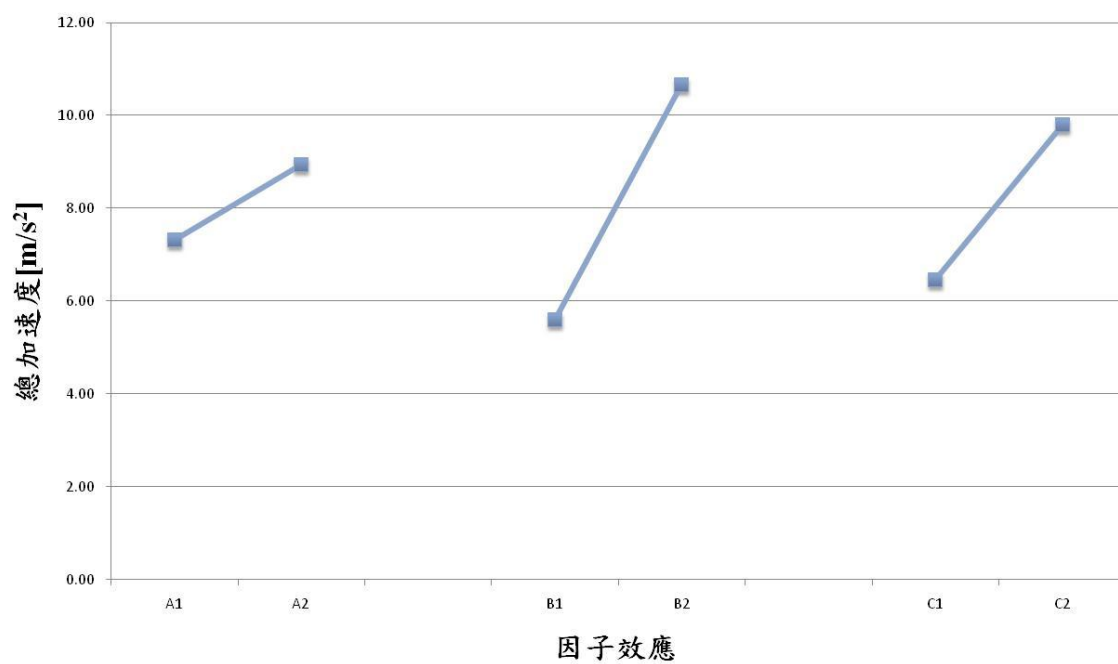


圖 4-26 因子變動對總加速度之反應

更進一步對各因子進行變異數分析，其結果如表 4-39 所示。割草機型式、引擎轉速為與刀片種類，對總加速度的貢獻量，分別為 5.80%、56.88%、24.94%，而誤差所貢獻之百分比為 12.38%。此貢獻比例與因子反應所呈現之趨勢一致，而誤差對總加速度大於割草機型式，可能是由於所使用的引擎雖然排氣量與馬力相同，但其引擎的性能曲線有所差異，故有此結果。在信心水準方面，以引擎轉速為 96.46% 最高，大於一般所設定 95%。刀片種類為 82.04%，可能是實測其他干擾因素所造成，可能透過實驗次數的增加，會有較高之水準，至於割草機型式，其信心水準只有 36.24% 明顯過低，可能要選用相同引擎之軟硬管割草機，來驗證此部分是否有影響。

表 4-39 各因子對割草機總加速度之變異數分析

Factors	SS	Dof	Contribution	F	Probability	Confidence Level
A	7.835619	1	5.80%	0.4689	0.6375	36.24%
B	76.77624	1	56.88%	4.5953	0.0354	96.46%
C	33.66723	1	24.94%	2.0150	0.1796	82.04%
error	16.70757	8	12.38%			
total	134.9867	11	100.00%			

4.2.2 最佳化及驗證

根據圖 4-19 選擇使 S/N 比較大、圖 4-20 選擇品質特性較小，可發現最佳組合為 A1B1C1，代表是使用軟管式、引擎轉速為 4500rpm 以及使用尼龍繩之情況。而由 4.1 節之 12 組實驗中，也發現此組合確實是最小值，故在此兩台割草機之情況下，確實可由田口方法找出一最佳化之操作參數，而驗證結果如表 4-40，預測與實際差 3.4 dB，可能是由於樣本數不夠，使信心水準不足所導致，但依然能正確反應趨勢。

表 4-40 田口方法預測結果

Exp.	A	B	C	y_1	y_2	y_3	Avg.	Std.	實際 S/N	預測 S/N
5	1	2	1	6.978	8.411	8.028	7.81	0.74	-17.89	-14.85
6	1	1	2	5.316	3.301	3.353	3.99	1.15	-12.36	-9.32
7	2	1	1	5.240	5.060	5.047	5.12	0.11	-14.18	-11.14
8	2	2	2	8.279	9.189	9.406	8.96	0.60	-19.06	-16.02



第五章 結論與建議

本文之研究目的為根據 ISO 5349 的規範定義，建立揹負式割草機把手振動量測系統，量測實際操作時所產生的把手振動，並以歐盟與我國的規範比較，評估其對人體所帶來的影響與危害，而由實驗結果獲得以下結論：

1. 利用 1/3 中央倍頻分析揹負式割草機之頻譜特性，其三軸頻譜峰值與分佈情況基本上一致，軟管式尼龍繩頻譜峰值介在 50~80 Hz 間、二片刀頻譜介在 50~125 Hz 間，而在硬管式部份，頻譜左右手有類似趨勢，但在峰值部分，並未發現一致性及規律性。

2. 在軸向最大加速度部分，主要皆分佈 Y 方向或是 X 方向，其原因應是傳動軸軸心之旋轉方向剛好有手部量測座標的 X-Y 平面一致，總加速度與引擎轉速為有正相關性。而刀片在引擎怠速運轉無明顯影響，在低速及高速運轉下，使用二片刀之振動量大於尼龍繩，而硬管式割草機基本上左右手振動量一致。

3. 歐盟規範下，每日最大工作時數軟管式尼龍繩為 6.70 小時、軟管式二片刀為 4.90 小時、硬管式尼龍繩為 3.53 小時、硬管式二片刀為 2.75 小時。而我國規範下，軟管式每日最大工作時數為二小時以上、未滿四小時，硬管式則為一小時以上、未滿二小時。以 ISO 5349 之振動導致白指病預測函數評估，終身工作年數軟管式尼龍繩為 5.23 年、軟管式二片刀為 4.45 年、硬管式尼龍繩為 3.74 年、硬管式二片刀為 3.28 年。

4.比較實際除草與引擎空轉，在頻譜部分，基本上與實際除草相同，硬管式割草機在 5000 rpm 處無明顯峰值，而總加速度部分，軟管式總加速度隨著引擎轉速為增加而增加，硬管式在引擎轉速為 5000 rpm 處有一峰值，而在 8000 rpm 處有一相對最小值，之後總加速度隨著引擎轉速為增加而上升。

5.利用田口方法，在割草機型式、引擎轉速為與刀片種類，其對總加速度之貢獻量分別為 5.80%、56.88%、24.94%，表示引擎轉速為對總加速度之影響最大，並在此控制因子變動水準下，確實能夠找出一組最佳操作參數為軟管式割草機、引擎轉速為 4500 rpm 以及使用尼龍繩刀片，並正確預測不同變動水準時，振動量大小的趨勢。



本論文實地進行除草作業，將其結果與國際規範比較，提出割草機使用者可參考之每日工作時間與終身工作年數，並利用田口方法分析割草機型式、引擎轉速為與刀片種類對振動量之貢獻，找出一最佳化操作參數。其使用之量測系統與分析方式，可作為其他農用手工具之分析參考依據。

而未來可進一步之研究方向：

- (1).分析握力、作業姿勢、作業時間與效率等要素，改善使用者暴露於振動之下作業環境。
- (2).利用振動學相關理論，進一步分析揹負式割草機的基本振動特性。
- (3).改良揹負式割草機的機構，降低振動量。

參考文獻

- 行政院勞工委員會。2009。勞工安全衛生設施規則，66-68。台北：行政院勞工委員會。
- 李輝煌。2008。田口方法：品質設計的原理與實務。三版，1-335。台北：高立圖書有限公司。
- 洪根強、楊明枝、曾傳銘。1997。工業安全衛生管理與實務。初版，271-286。台北：揚智。
- 胡世明、劉玉文、何先聰、黃靖茹。2006。從業人員手-手臂振動暴露量之評估與相關職業傷害之調查。工業安全科技 68: 21-29。
- 胡世明、何先聰、陳連輝、黃靖茹。2009。林務工人之手-手臂振動量測與其危害評估。嘉南學報 32: 159-169。
- 馬江彬。1993。人機工程學與其應用。初版，238-241。北京：機械工業。
- 張淑如、陳尹柔。2004。利用人因工程、防振手套及醫學調查介入方式來降低工作場所手—手臂振動風險。勞工安全衛生簡訊 68: 14-15。
- 勞工安全衛生研究所。2008。職業性手臂振動症候群預防手冊。台北：行政院勞工委員會。
- 葉仲基。2010。揹負式割草機使用安全技術手冊。初版。台北：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所。
- 詹聚法、葉仲基。2000。把手振動量測系統之建立及其在農用動力式手工具之應用。農業機械學刊 9(3): 23-36。

盧士一、陳協慶、劉永平。2005。裝配作業氣動工具使用之局部振動暴露
評估與改善研究。台北：勞工安全衛生研究所。

Brüel & Kjær. 1993. Multichannel analysis system Type 3550 Vol.1: Guided
Tour 1(Frequency Analysis). Technical Documentation, 2-45. Brüel & Kjær.

Brüel & Kjær. 1993. Multichannel analysis system Type 3550 Vol.1: Guided
Tour 2(1/n-octave Analysis). Technical Documentation, 2-25. Brüel & Kjær.

Brüel & Kjær. 1995. Hand-Arm Vibration Set Type 4392 User Guide.

Technical Documentation, 2-6. Brüel & Kjær.

Cederlund, R., S. Iwarsson, and G. Lundborg. 2007. Quality of life in Swedish
workers exposed to hand-arm vibration. *Occup. Ther. Int.* 14: 156-169.

Dong, R. G., J. Z. Wu, D. E. Welcome, and T. W. McDowell. 2005. Estimation
of Vibration Power Absorption Density in Human Fingers. *J. Biomech.*

*Eng.*127: 849-856.

Griffin, M. J. 1997. Measurement, evaluation, and assessment of occupational
exposures to hand-transmitted vibration. *Occup. Environ. Med.* 54: 73-89.

Griffin, M. J. 1998. Evaluation of the effectiveness of gloves in reducing the
hazards of hand-transmitted vibration. *Occup. Environ. Med.* 55: 340-348.

International Electrotechnical Commission. 1966. IEC 60225 Octave, half-octave and third-octave band filters intend for the analysis of sounds and vibrations. Geneva, Switzerland: IEC.

International Organization for Standardization. 2001. ISO 5349-1 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration —Part 1: General requirements. Geneva, Switzerland: ISO.

International Organization for Standardization. 2001. ISO 5349-2 Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to handtransmitted vibration — Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. Geneva, Switzerland : ISO.

Ko, Y. H., O. L. Ean, and Z. M. Ripin. 2011. The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. International Journal of Industrial Ergonomics xxx: 1-12.(Article in Press, Corrected Proof)

Mallick, Z. 2008. Optimization of operating parameters for a back-pack type grass trimmer. International Journal of Industrial Ergonomics 38(1): 101-110.

Mallick, Z. 2010. Optimization of the operating parameters of a grass trimming machine. Applied Ergonomics 41(2): 260-265.

Rasmussen, G. 1982. Human body vibration exposure and its measurement.

Technical Review No.1, 3-31. Danmark: Brüel & Kjær.

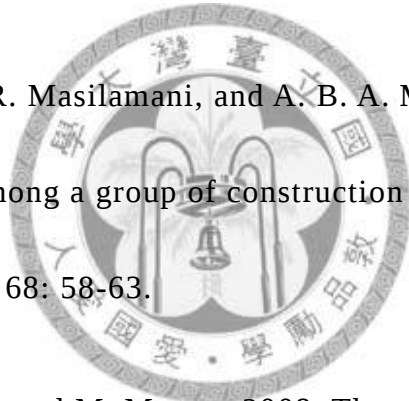
Reddy, K. A., N. M. Babu, L. H. R. Srikanth, and J. Srinivas. 2010. Design and analysis of a revised grass trimming device. JSIR Vol.69(1): 39-42.

Sauni, R., R. Pääkkönen, P. Virtema, E. Toppila, and Jukka Uitti. 2009.

Dose–Response Relationship Between Exposure to Hand-arm Vibration and Health Effects among Metalworkers. Ann. Occup. Hyg. 53(1): 55-62.

Su, T. A., V. C. W. Hoe, R. Masilamani, and A. B. A. Mahmud. 2011. Hand-arm vibration syndrome among a group of construction workers in Malaysia. Occup. Environ. Med. 68: 58-63.

Thompson, A., R. House, and M. Manno. 2008. The sensitivity and specificity of thermometry and plethysmography in the assessment of hand–arm vibration syndrome. Occup. Med. 58: 181–186.



附錄

附表 1-1 第一組實驗－軟管式割草機、使用尼龍繩

Hz	引擎轉速為 3000 rpm			引擎轉速為 4500 rpm			引擎轉速為 6000 rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
8	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.01	0.03±0.01	0.01±0.01	0.02±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00
12.5	0.01±0.00	0.05±0.01	0.02±0.01	0.06±0.02	0.07±0.01	0.03±0.01	0.07±0.01	0.10±0.01	0.05±0.03
16	0.02±0.00	0.11±0.02	0.04±0.00	0.18±0.04	0.20±0.03	0.09±0.02	0.20±0.01	0.29±0.04	0.09±0.04
20	0.03±0.00	0.13±0.03	0.06±0.01	0.51±0.14	0.41±0.09	0.31±0.11	0.35±0.05	0.42±0.09	0.18±0.05
25	0.13±0.01	0.23±0.05	0.18±0.02	0.78±0.09	0.64±0.09	0.58±0.11	0.26±0.03	0.54±0.11	0.35±0.08
31.5	0.16±0.01	0.46±0.03	0.35±0.02	1.18±0.19	1.48±0.16	1.18±0.13	0.37±0.06	0.92±0.07	0.60±0.09
40	0.11±0.00	0.89±0.35	0.48±0.22	1.67±0.31	2.30±0.30	1.57±0.30	1.26±0.32	2.80±0.45	1.78±0.16
50	0.17±0.01	1.81±0.38	0.61±0.07	1.56±0.18	2.06±0.24	0.94±0.13	2.67±0.62	2.79±0.50	1.13±0.36
63	0.16±0.01	0.44±0.02	0.27±0.02	2.39±0.05	1.68±0.16	0.60±0.07	21.29±1.67	11.03±0.59	3.45±0.75
80	0.14±0.01	0.59±0.11	0.39±0.07	2.07±0.22	1.87±0.11	1.12±0.13	6.71±0.44	6.63±0.78	2.49±0.41
100	0.15±0.01	0.53±0.08	0.39±0.02	1.68±0.28	1.17±0.08	0.54±0.07	3.26±0.60	3.72±0.90	0.94±0.19
125	0.14±0.01	0.20±0.02	0.17±0.01	1.57±0.32	1.53±0.31	0.48±0.09	2.22±0.15	2.58±0.19	0.66±0.07
160	0.12±0.01	0.26±0.04	0.16±0.01	1.70±0.09	2.12±0.20	0.64±0.03	2.78±0.28	3.31±0.59	0.80±0.13
200	0.13±0.01	0.21±0.02	0.15±0.00	0.38±0.05	1.50±0.12	0.25±0.01	1.06±0.28	2.60±0.16	0.46±0.05
250	0.14±0.00	0.30±0.07	0.19±0.02	0.44±0.02	2.03±0.18	0.47±0.04	1.06±0.20	3.49±0.40	0.86±0.06
315	0.14±0.00	0.44±0.05	0.22±0.02	0.73±0.09	2.63±0.31	0.70±0.04	1.62±0.34	5.02±1.04	1.46±0.21
400	0.16±0.00	0.60±0.12	0.27±0.04	0.72±0.06	2.37±0.35	1.37±0.16	1.10±0.11	3.70±0.63	1.92±0.09
500	0.19±0.00	0.29±0.02	0.23±0.01	1.05±0.06	1.95±0.23	2.67±0.64	1.38±0.19	3.83±0.23	3.65±0.26
630	0.23±0.00	0.25±0.00	0.25±0.01	0.64±0.04	1.88±0.33	1.77±0.44	1.14±0.27	3.20±0.23	3.05±0.37
800	0.28±0.01	0.32±0.01	0.32±0.01	0.57±0.05	1.80±0.29	1.65±0.18	1.02±0.20	6.46±2.28	4.78±1.15
1000	0.34±0.01	0.37±0.01	0.37±0.01	0.47±0.02	1.51±0.16	0.83±0.15	1.03±0.18	10.97±1.72	6.86±0.79
1250	0.35±0.01	0.36±0.01	0.36±0.01	0.39±0.01	0.58±0.03	0.45±0.06	0.48±0.03	1.57±0.57	1.07±0.30

附表 1-2 第二組實驗－軟管式割草機、使用二片刀

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00
8	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.01±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.01±0.00
12.5	0.02±0.00	0.06±0.01	0.03±0.01	0.04±0.00	0.05±0.01	0.03±0.00	0.06±0.01	0.06±0.01	0.03±0.00
16	0.05±0.01	0.11±0.01	0.06±0.01	0.11±0.01	0.13±0.02	0.06±0.01	0.13±0.01	0.12±0.01	0.06±0.00
20	0.07±0.01	0.13±0.03	0.06±0.02	0.25±0.03	0.20±0.05	0.09±0.01	0.29±0.04	0.21±0.02	0.12±0.02
25	0.13±0.02	0.19±0.06	0.13±0.03	0.41±0.03	0.32±0.02	0.27±0.01	0.45±0.03	0.41±0.03	0.34±0.02
31.5	0.51±0.16	0.61±0.07	0.51±0.10	0.68±0.14	0.65±0.09	0.61±0.10	0.52±0.04	0.59±0.06	0.63±0.06
40	0.22±0.08	0.54±0.21	0.50±0.16	0.40±0.02	0.41±0.05	0.42±0.03	0.39±0.02	0.45±0.04	0.45±0.03
50	1.02±0.09	1.86±0.12	0.60±0.13	1.29±0.72	0.78±0.21	0.49±0.11	0.53±0.06	0.58±0.09	0.39±0.02
63	0.34±0.02	0.49±0.06	0.19±0.03	14.95±4.14	6.71±3.60	2.06±0.55	7.53±3.33	4.47±1.92	1.44±0.52
80	0.33±0.08	0.46±0.14	0.30±0.04	8.07±2.62	3.76±0.66	5.09±1.01	35.45±2.13	25.65±4.61	7.76±1.17
100	0.50±0.08	0.50±0.05	0.31±0.02	4.06±0.47	3.83±1.61	1.71±0.26	10.14±1.94	4.43±0.63	4.23±0.55
125	0.21±0.02	0.20±0.02	0.14±0.02	5.19±0.30	8.30±0.65	2.75±0.23	3.59±0.63	4.35±1.26	1.62±0.28
160	0.33±0.02	0.33±0.04	0.16±0.01	3.87±0.27	4.46±0.08	1.76±0.09	6.44±0.65	9.59±0.56	2.29±0.19
200	0.22±0.02	0.23±0.03	0.14±0.01	3.42±0.86	10.22±2.61	3.42±0.82	2.21±0.33	8.71±1.36	2.79±0.42
250	0.22±0.02	0.29±0.04	0.17±0.01	2.14±0.24	5.85±1.19	2.27±0.39	2.22±0.35	6.95±0.74	2.31±0.36
315	0.2±0.01	0.48±0.12	0.20±0.03	2.00±0.37	8.09±1.00	3.18±0.30	2.82±0.15	9.04±0.30	3.69±0.23
400	0.18±0.00	0.43±0.07	0.21±0.02	1.36±0.21	9.32±1.87	4.09±0.68	2.49±0.23	9.26±0.45	4.03±0.23
500	0.19±0.01	0.25±0.01	0.20±0.01	1.86±0.18	6.15±1.11	3.74±0.57	2.59±0.35	7.18±0.65	6.28±0.89
630	0.21±0.01	0.22±0.01	0.21±0.00	1.18±0.27	5.34±1.01	4.81±0.79	1.56±0.23	6.11±0.41	5.56±0.44
800	0.26±0.01	0.27±0.01	0.26±0.01	0.74±0.11	4.05±0.81	3.47±0.63	1.27±0.09	6.07±0.51	4.56±0.45
1000	0.31±0.01	0.32±0.01	0.29±0.01	0.52±0.09	3.03±0.54	1.62±0.44	1.05±0.06	4.55±0.26	2.01±0.25
1250	0.34±0.01	0.35±0.01	0.35±0.01	0.49±0.08	1.55±0.19	0.71±0.13	0.84±0.17	2.00±0.15	0.84±0.10

附表 1-3 第三組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00
8	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.09±0.01	0.05±0.01	0.03±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.00	0.02±0.01
12.5	0.20±0.03	0.20±0.02	0.07±0.02	0.07±0.02	0.08±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.07±0.01	0.04±0.02
16	0.15±0.03	0.26±0.04	0.09±0.02	0.13±0.06	0.21±0.04	0.09±0.02	0.08±0.02	0.14±0.02	0.06±0.01
20	0.13±0.03	0.14±0.01	0.09±0.01	0.24±0.08	0.26±0.07	0.16±0.03	0.17±0.02	0.22±0.01	0.15±0.02
25	0.22±0.04	0.16±0.01	0.15±0.02	0.35±0.09	0.30±0.10	0.29±0.20	0.19±0.05	0.21±0.05	0.11±0.01
31.5	0.23±0.04	0.16±0.01	0.16±0.01	0.65±0.10	0.56±0.17	0.77±0.80	0.33±0.09	0.26±0.04	0.21±0.03
40	0.35±0.09	0.13±0.02	0.20±0.02	3.78±1.04	2.57±0.62	2.32±1.12	15.67±7.17	10.52±2.22	7.48±0.48
50	1.57±0.70	1.79±0.76	1.37±0.54	4.65±0.93	3.19±0.92	3.44±1.27	3.06±0.54	2.91±0.54	3.39±0.43
63	6.12±0.47	8.59±0.16	3.51±0.62	7.83±2.15	9.76±1.41	4.77±1.17	3.66±0.42	5.09±0.31	7.11±0.51
80	1.05±0.10	1.10±0.06	0.55±0.06	5.36±0.94	6.63±2.16	3.15±2.26	16.5±0.88	12.69±1.2	7.77±0.27
100	0.88±0.03	0.76±0.04	0.44±0.03	4.22±0.90	2.20±0.91	1.39±1.12	4.60±0.60	4.65±0.90	1.27±0.22
125	1.75±0.07	1.37±0.06	0.93±0.03	2.26±0.31	1.51±0.09	1.01±0.36	4.54±0.35	2.67±0.63	1.87±0.17
160	3.99±0.93	3.30±0.56	0.83±0.06	7.35±2.01	4.66±2.16	1.93±0.57	19.28±1.49	16.66±1.12	5.91±0.63
200	2.81±0.82	1.79±0.12	0.51±0.09	5.27±0.62	3.14±0.72	2.01±0.41	4.80±0.25	4.59±0.24	1.61±0.12
250	2.12±0.26	2.61±0.20	0.88±0.13	3.69±0.52	6.06±0.41	3.01±0.42	4.15±0.48	7.18±0.34	3.18±0.11
315	2.49±0.31	4.05±0.49	1.22±0.10	4.23±1.01	8.15±1.53	4.09±1.83	4.59±0.27	10.75±0.53	6.19±0.75
400	0.97±0.09	1.96±0.16	0.62±0.07	2.24±0.50	4.99±0.62	2.13±0.77	3.71±0.25	6.65±0.37	4.18±0.37
500	0.38±0.03	0.90±0.03	0.40±0.02	1.01±0.11	2.41±0.55	1.16±0.40	1.55±0.12	3.62±0.18	2.35±0.08
630	0.28±0.02	0.41±0.03	0.26±0.01	0.37±0.03	1.51±0.13	0.55±0.07	0.54±0.06	2.05±0.15	0.77±0.06
800	0.31±0.01	0.51±0.04	0.28±0.00	0.40±0.07	2.58±0.32	0.54±0.14	0.53±0.09	4.11±0.29	0.82±0.04
1000	0.37±0.01	0.64±0.03	0.34±0.01	0.55±0.19	2.44±1.24	0.51±0.20	1.09±0.03	6.40±0.24	0.93±0.05
1250	0.41±0.01	0.47±0.02	0.35±0.01	0.48±0.06	1.34±0.57	0.86±1.02	0.96±0.06	4.65±0.29	0.50±0.10

附表 1-4 第三組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.07±0.01	0.04±0.01	0.02±0.00	0.03±0.01	0.03±0.01	0.01±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00
12.5	0.15±0.02	0.17±0.02	0.07±0.01	0.05±0.01	0.07±0.01	0.03±0.00	0.12±0.14	0.06±0.01	0.03±0.00
16	0.15±0.03	0.30±0.04	0.13±0.02	0.10±0.02	0.18±0.03	0.06±0.02	0.17±0.14	0.16±0.02	0.05±0.01
20	0.14±0.02	0.15±0.01	0.09±0.01	0.17±0.06	0.25±0.04	0.10±0.04	0.22±0.17	0.30±0.04	0.10±0.01
25	0.16±0.03	0.10±0.01	0.08±0.01	0.23±0.04	0.24±0.05	0.11±0.03	0.36±0.15	0.57±0.07	0.19±0.02
31.5	0.25±0.03	0.20±0.01	0.18±0.01	0.60±0.10	0.42±0.04	0.32±0.07	0.51±0.18	0.56±0.11	0.22±0.04
40	0.27±0.04	0.14±0.01	0.18±0.02	5.29±2.00	2.82±0.79	2.13±1.13	1.39±0.49	1.45±0.22	0.88±0.16
50	0.48±0.10	0.94±0.04	0.78±0.22	3.71±0.69	6.93±0.50	5.10±0.63	3.03±1.64	3.45±0.46	2.76±0.46
63	2.60±0.32	6.19±0.37	2.54±0.69	1.71±0.43	3.52±0.58	1.76±0.71	8.15±3.69	15.57±1.39	5.86±0.71
80	1.25±0.13	1.26±0.06	0.43±0.06	5.32±0.59	10.49±1.28	2.81±0.58	5.64±2.73	10.17±1.52	4.50±0.50
100	0.98±0.08	0.76±0.05	0.45±0.04	3.63±0.55	2.73±0.54	1.40±0.14	11.27±4.4	17.28±3.39	8.20±0.81
125	2.01±0.14	1.60±0.17	0.91±0.07	1.91±0.49	1.34±0.17	0.89±0.05	2.96±0.55	2.98±0.54	1.59±0.22
160	2.35±0.65	2.68±0.44	1.10±0.13	6.68±1.56	7.28±1.62	4.57±0.61	13.88±2.24	10.57±1.97	3.66±0.57
200	1.35±0.22	1.53±0.14	0.70±0.09	4.36±0.39	4.84±0.14	2.08±0.14	14.78±0.84	7.80±0.84	3.01±0.22
250	0.79±0.20	2.22±0.20	1.34±0.04	3.23±0.39	6.79±0.88	2.99±0.30	8.63±0.90	11.16±0.71	4.26±0.32
315	1.05±0.07	5.11±0.48	2.06±0.09	4.25±0.90	9.16±1.20	4.60±0.30	10.53±0.96	12.66±1.47	5.65±0.40
400	0.71±0.08	1.93±0.09	1.39±0.06	3.22±0.40	8.66±0.47	3.79±0.08	17.96±2.05	22.03±1.74	9.77±1.22
500	0.46±0.05	1.29±0.10	0.74±0.02	1.80±0.22	5.56±1.26	2.46±0.12	4.80±0.34	10.29±1.19	3.65±0.24
630	0.33±0.02	0.49±0.03	0.43±0.02	0.74±0.12	2.13±0.45	1.12±0.17	1.51±0.13	3.46±0.41	1.65±0.10
800	0.36±0.01	0.50±0.01	0.40±0.01	0.62±0.04	2.16±0.29	1.23±0.09	1.07±0.31	3.25±0.28	1.55±0.16
1000	0.42±0.01	0.52±0.01	0.44±0.02	0.99±0.22	3.12±0.61	2.66±0.20	1.05±0.27	2.63±0.15	1.32±0.12
1250	0.44±0.01	0.44±0.01	0.40±0.01	0.59±0.04	0.85±0.12	0.61±0.04	1.44±0.14	2.35±0.04	1.24±0.11

附表 1-5 第四組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.02±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.01
10	0.07±0.01	0.05±0.01	0.03±0.00	0.04±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00	0.05±0.01	0.04±0.01	0.02±0.01
12.5	0.21±0.02	0.21±0.04	0.12±0.01	0.15±0.02	0.24±0.07	0.05±0.02	0.17±0.02	0.21±0.02	0.06±0.01
16	0.23±0.03	0.30±0.05	0.15±0.01	0.83±0.30	0.90±0.30	0.17±0.03	1.31±0.10	1.04±0.17	0.32±0.07
20	0.16±0.01	0.17±0.01	0.13±0.00	1.52±0.38	0.87±0.26	0.48±0.07	1.08±0.29	0.58±0.31	0.33±0.07
25	0.19±0.02	0.14±0.02	0.14±0.01	1.31±0.07	0.41±0.21	0.62±0.08	0.37±0.11	0.27±0.03	0.24±0.07
31.5	0.22±0.03	0.16±0.01	0.14±0.00	0.38±0.10	0.35±0.03	0.47±0.06	0.49±0.07	0.40±0.01	0.51±0.05
40	0.36±0.03	0.19±0.01	0.20±0.01	0.48±0.12	0.47±0.02	0.61±0.07	0.66±0.04	0.45±0.07	0.73±0.08
50	0.70±0.08	0.51±0.10	0.44±0.03	2.12±0.55	4.98±2.53	5.98±2.70	0.81±0.06	1.33±0.41	0.88±0.09
63	4.66±0.58	5.57±0.79	2.68±0.34	4.80±2.12	9.78±0.82	10.49±2.84	1.69±2.35	5.47±7.23	3.28±4.96
80	0.90±0.07	1.39±0.13	0.68±0.08	5.39±2.75	18.18±3.61	8.78±2.01	4.21±1.03	22.81±7.15	10.26±2.39
100	0.57±0.03	0.64±0.03	0.39±0.02	2.15±0.36	2.54±0.21	1.08±0.15	6.80±1.01	29.72±2.31	6.18±2.13
125	0.76±0.09	0.93±0.08	0.82±0.08	5.20±1.75	12.77±2.11	3.13±0.81	3.16±0.58	4.47±1.54	2.22±0.67
160	1.96±0.21	2.00±0.37	0.77±0.10	13.76±4.05	12.03±3.12	6.22±1.88	19.36±4.58	7.70±0.70	5.55±2.02
200	2.15±0.31	1.93±0.33	0.63±0.04	8.44±0.39	6.76±1.00	2.82±0.22	25.71±4.11	21.00±5.24	19.42±7.33
250	4.59±0.22	2.95±0.06	2.35±0.11	9.71±1.94	7.93±0.89	4.53±0.26	13.94±9.49	12.72±9.04	9.48±3.88
315	3.92±0.23	3.47±0.36	2.28±0.17	14.09±2.87	15.29±3.43	10.92±2.65	10.8±0.62	12.15±1.16	12.72±1.18
400	1.53±0.19	2.22±0.23	1.39±0.10	5.46±0.58	6.27±0.52	4.12±0.47	18.15±3.53	16.46±2.90	13.33±1.62
500	0.57±0.06	1.30±0.04	0.68±0.04	2.98±0.67	4.06±0.68	2.74±0.47	4.67±0.67	4.73±0.56	4.58±0.55
630	0.35±0.02	0.67±0.03	0.38±0.01	1.20±0.18	1.67±0.15	0.80±0.07	2.25±0.10	2.38±0.16	1.88±0.23
800	0.36±0.01	0.63±0.01	0.47±0.01	1.26±0.23	1.81±0.11	1.01±0.10	3.10±0.38	3.23±0.40	2.66±0.34
1000	0.38±0.01	0.52±0.02	0.41±0.01	1.83±0.16	1.70±0.34	1.24±0.15	2.58±0.12	2.26±0.19	2.03±0.13
1250	0.38±0.01	0.42±0.01	0.36±0.00	1.20±0.13	0.82±0.19	0.63±0.06	1.66±0.18	1.06±0.14	1.41±0.09

附表 1-6 第四組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.00	0.03±0.00	0.03±0.01	0.01±0.00	0.04±0.00	0.03±0.00	0.01±0.00
10	0.07±0.01	0.05±0.01	0.02±0.00	0.06±0.00	0.07±0.02	0.03±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01	0.03±0.01
12.5	0.15±0.02	0.16±0.02	0.09±0.01	0.21±0.04	0.31±0.07	0.07±0.01	0.18±0.03	0.25±0.04	0.08±0.01
16	0.19±0.04	0.27±0.01	0.21±0.02	1.10±0.37	2.39±0.48	0.48±0.10	1.16±0.48	2.37±0.28	0.53±0.08
20	0.14±0.05	0.17±0.03	0.14±0.03	2.21±0.39	3.55±0.38	1.02±0.25	1.73±0.65	2.35±0.44	0.65±0.16
25	0.16±0.06	0.13±0.03	0.09±0.01	1.66±0.44	2.03±0.21	0.81±0.16	0.83±0.10	1.02±0.07	0.42±0.03
31.5	0.25±0.05	0.20±0.02	0.17±0.01	1.27±0.23	1.24±0.05	0.67±0.09	0.90±0.12	0.97±0.10	0.62±0.05
40	0.27±0.06	0.15±0.02	0.17±0.02	1.04±0.33	0.89±0.06	0.69±0.06	1.08±0.12	0.74±0.03	0.72±0.07
50	0.45±0.15	1.06±0.27	0.63±0.26	1.38±1.38	2.03±2.08	1.85±0.97	0.75±0.07	1.05±0.03	1.16±0.07
63	2.14±0.44	6.28±0.70	1.62±0.14	5.24±0.69	13.23±1.6	6.93±1.45	1.48±0.62	3.11±1.73	1.24±1.00
80	0.92±0.15	1.52±0.27	0.55±0.09	3.92±0.81	7.85±1.19	4.75±0.43	4.63±0.44	14.92±0.99	4.21±0.42
100	0.60±0.03	0.71±0.10	0.39±0.04	4.47±2.57	5.87±3.54	3.53±2.62	13.42±0.87	23.61±0.31	14.35±0.99
125	1.16±0.10	1.98±0.21	0.68±0.12	8.71±2.41	8.63±2.29	2.06±0.18	2.92±0.39	2.47±0.29	1.57±0.27
160	1.57±0.08	3.09±0.30	0.73±0.11	25.29±7.15	21.23±3.21	6.5±0.87	19.03±0.97	17.09±1.75	4.32±0.23
200	1.41±0.21	2.06±0.22	0.45±0.06	14.69±5.82	11.94±1.26	2.82±0.47	21.23±1.62	17.62±1.27	9.35±1.68
250	1.52±0.21	1.76±0.17	0.82±0.14	12.28±2.93	26.24±6.81	7.48±1.44	13.67±1.33	20.05±1.56	5.65±0.72
315	1.81±0.03	3.48±0.29	1.22±0.15	20.50±6.34	18.35±2.60	9.04±1.24	19.78±1.70	14.01±0.64	9.41±0.54
400	1.24±0.12	1.90±0.13	0.94±0.09	10.96±2.75	16.65±3.16	6.35±1.52	19.07±2.58	21.09±1.67	11.19±1.09
500	0.63±0.05	1.45±0.14	0.50±0.07	4.68±0.89	10.91±3.16	3.24±0.40	6.21±0.49	11.71±1.12	5.29±0.51
630	0.34±0.02	0.60±0.09	0.33±0.02	1.54±0.20	4.32±1.14	1.47±0.25	2.29±0.14	4.59±0.48	2.90±0.21
800	0.33±0.02	0.49±0.04	0.36±0.02	1.14±0.10	3.72±0.58	1.13±0.17	1.41±0.06	5.21±0.32	2.76±0.18
1000	0.36±0.02	0.50±0.04	0.37±0.01	1.02±0.18	3.01±0.38	1.23±0.16	1.25±0.06	3.73±0.28	2.19±0.12
1250	0.42±0.02	0.42±0.02	0.38±0.01	1.34±0.31	2.22±0.41	0.82±0.18	1.62±0.05	2.43±0.12	1.40±0.08

附表 1-7 第五組實驗－軟管式割草機、使用尼龍繩

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.01	0.02±0.03	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00
8	0.00±0.00	0.00±0.00	0.02±0.03	0.04±0.08	0.02±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.03	0.10±0.20	0.04±0.01	0.01±0.00	0.02±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00
12.5	0.02±0.00	0.06±0.01	0.05±0.06	0.18±0.34	0.09±0.02	0.03±0.01	0.06±0.01	0.13±0.03	0.07±0.01
16	0.05±0.01	0.11±0.01	0.13±0.17	0.35±0.48	0.25±0.05	0.08±0.01	0.20±0.05	0.35±0.08	0.18±0.04
20	0.07±0.01	0.13±0.03	0.12±0.15	0.68±0.50	0.47±0.05	0.23±0.04	0.39±0.12	0.53±0.15	0.34±0.08
25	0.13±0.02	0.19±0.06	0.23±0.24	0.95±0.36	0.79±0.06	0.54±0.06	0.42±0.08	0.78±0.11	0.62±0.11
31.5	0.51±0.16	0.61±0.07	0.47±0.16	1.49±0.67	1.81±0.12	1.10±0.08	0.46±0.07	1.12±0.23	0.85±0.18
40	0.22±0.08	0.54±0.21	0.48±0.19	1.94±0.17	3.05±0.23	1.71±0.19	1.00±0.06	3.74±0.51	2.60±0.41
50	1.02±0.09	1.86±0.12	0.53±0.19	1.57±0.59	2.50±0.49	0.98±0.31	3.75±0.34	3.87±0.46	1.65±0.18
63	0.34±0.02	0.49±0.06	0.17±0.03	2.51±1.23	2.27±0.56	1.22±0.32	25.72±2.14	11.39±0.7	5.74±0.46
80	0.33±0.08	0.46±0.14	0.28±0.08	2.51±0.77	2.66±0.61	1.64±0.42	7.92±1.04	7.03±0.90	4.14±0.98
100	0.50±0.08	0.50±0.05	0.28±0.08	1.69±0.10	1.17±0.11	0.84±0.08	5.13±0.57	4.79±0.64	1.80±0.15
125	0.21±0.02	0.20±0.02	0.15±0.02	1.22±0.20	1.47±0.07	0.70±0.04	3.34±0.20	3.43±0.58	1.35±0.15
160	0.33±0.02	0.33±0.04	0.17±0.02	1.71±0.16	2.17±0.15	0.99±0.16	3.61±0.24	3.29±0.16	1.17±0.18
200	0.22±0.02	0.23±0.03	0.15±0.03	1.01±0.19	1.67±0.10	0.61±0.03	1.84±0.17	2.96±0.32	0.97±0.10
250	0.22±0.02	0.29±0.04	0.17±0.02	1.09±0.08	2.11±0.10	0.73±0.05	2.22±0.28	4.21±0.13	1.65±0.06
315	0.20±0.01	0.48±0.12	0.21±0.03	1.31±0.48	2.81±0.18	1.29±0.16	2.41±0.31	5.80±0.23	2.30±0.09
400	0.18±0.00	0.43±0.07	0.22±0.03	1.28±0.34	2.87±0.47	1.86±0.40	1.51±0.11	4.60±0.11	2.34±0.07
500	0.19±0.01	0.25±0.01	0.22±0.04	0.92±0.28	2.13±0.25	1.90±0.46	1.47±0.11	3.76±0.37	2.64±0.16
630	0.21±0.01	0.22±0.01	0.24±0.06	0.61±0.11	2.54±0.23	1.63±0.13	0.82±0.06	3.81±0.46	2.70±0.22
800	0.26±0.01	0.27±0.01	0.33±0.16	0.91±0.50	1.71±0.13	2.00±0.19	0.86±0.07	2.60±0.17	2.15±0.38
1000	0.31±0.01	0.32±0.01	0.48±0.43	1.67±2.40	1.81±0.30	1.35±0.18	0.71±0.06	2.40±0.51	1.51±0.48
1250	0.34±0.01	0.35±0.01	0.35±0.01	0.43±0.01	0.68±0.08	0.54±0.05	0.51±0.03	0.93±0.10	0.62±0.19

附表 1-8 第六組實驗－軟管式割草機、使用二片刀

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.11±0.22	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.01	0.13±0.24	0.01±0.00	0.01±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01
10	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.16±0.27	0.02±0.00	0.03±0.02	0.04±0.02	0.03±0.02
12.5	0.04±0.00	0.05±0.01	0.02±0.01	0.03±0.03	0.09±0.01	0.03±0.01	0.06±0.02	0.10±0.04	0.05±0.04
16	0.04±0.01	0.11±0.03	0.04±0.01	0.06±0.06	0.21±0.02	0.07±0.01	0.13±0.03	0.17±0.06	0.10±0.07
20	0.08±0.02	0.16±0.03	0.07±0.01	0.17±0.14	0.38±0.03	0.14±0.02	0.29±0.05	0.27±0.10	0.22±0.09
25	0.11±0.01	0.24±0.05	0.15±0.02	0.28±0.26	0.51±0.03	0.47±0.03	0.37±0.06	0.42±0.09	0.38±0.11
31.5	0.22±0.01	0.58±0.13	0.40±0.04	0.22±0.14	0.65±0.12	0.48±0.02	0.43±0.04	0.65±0.10	0.63±0.09
40	0.24±0.04	1.36±0.34	0.60±0.12	0.47±0.38	0.65±0.18	0.61±0.20	0.45±0.08	0.60±0.09	0.50±0.07
50	0.29±0.08	1.96±0.21	0.59±0.15	1.16±1.08	1.90±0.47	1.63±0.48	0.58±0.07	0.64±0.13	0.47±0.07
63	0.31±0.02	0.51±0.06	0.28±0.03	2.79±2.46	6.42±1.10	2.46±0.41	8.56±7.89	8.03±6.99	3.79±3.66
80	0.62±0.11	0.65±0.12	0.42±0.02	1.66±1.51	3.59±1.50	3.18±0.56	38.83±12.13	35.89±14.92	8.28±1.68
100	0.60±0.06	0.58±0.05	0.32±0.02	1.90±1.68	5.95±1.60	2.36±0.57	11.59±2.01	3.44±0.86	3.87±0.90
125	0.36±0.09	0.29±0.02	0.17±0.01	2.90±2.44	9.08±1.57	3.45±0.54	6.83±4.30	4.05±2.71	2.07±0.89
160	0.30±0.05	0.27±0.01	0.14±0.01	1.73±1.63	4.07±0.18	2.10±0.18	7.39±1.29	7.94±1.78	3.54±0.89
200	0.18±0.03	0.25±0.03	0.16±0.01	1.52±1.42	4.99±0.63	2.29±0.39	2.21±0.38	4.51±1.26	2.21±0.51
250	0.18±0.01	0.30±0.04	0.18±0.01	0.96±0.86	4.30±0.41	2.06±0.27	3.77±1.11	6.35±1.28	3.43±0.97
315	0.19±0.01	0.43±0.05	0.20±0.01	0.76±0.67	6.08±0.37	2.73±0.31	2.92±0.50	6.32±0.41	3.18±0.27
400	0.22±0.01	0.56±0.06	0.28±0.02	0.56±0.41	5.41±0.55	2.63±0.26	2.63±0.39	6.48±0.38	4.13±0.79
500	0.22±0.00	0.30±0.02	0.24±0.01	0.63±0.45	4.04±0.38	2.42±0.22	2.29±0.47	4.38±0.13	3.72±0.57
630	0.26±0.01	0.26±0.01	0.25±0.01	0.70±0.46	3.52±0.24	3.87±0.33	1.48±0.39	3.39±0.16	5.29±0.95
800	0.32±0.01	0.36±0.01	0.34±0.01	0.54±0.23	2.53±0.19	2.54±0.11	1.14±0.26	3.77±0.43	2.74±0.4
1000	0.39±0.01	0.39±0.01	0.37±0.02	0.52±0.15	1.56±0.23	1.56±0.19	0.95±0.33	1.67±0.07	1.38±0.29
1250	0.42±0.01	0.40±0.01	0.37±0.01	0.45±0.03	0.68±0.09	0.72±0.08	0.90±0.33	0.88±0.13	0.58±0.17

附表 1-9 第七組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.02	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
8	0.02±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.02	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
10	0.06±0.01	0.04±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.02±0.02	0.03±0.01	0.03±0.00	0.01±0.00
12.5	0.15±0.02	0.22±0.03	0.08±0.04	0.05±0.01	0.08±0.01	0.02±0.00	0.06±0.01	0.09±0.01	0.03±0.01
16	0.18±0.04	0.39±0.02	0.16±0.06	0.09±0.03	0.19±0.02	0.06±0.01	0.08±0.00	0.16±0.02	0.04±0.00
20	0.15±0.01	0.21±0.03	0.16±0.09	0.12±0.02	0.17±0.02	0.08±0.00	0.16±0.03	0.23±0.03	0.06±0.01
25	0.17±0.01	0.16±0.02	0.13±0.03	0.24±0.03	0.24±0.04	0.16±0.04	0.51±0.09	0.48±0.06	0.29±0.04
31.5	0.54±0.16	0.44±0.14	0.46±0.10	0.73±0.12	0.67±0.07	0.61±0.07	0.71±0.09	0.51±0.07	0.33±0.04
40	0.31±0.05	0.17±0.02	0.15±0.02	4.35±1.52	3.98±0.34	3.35±0.56	1.02±0.30	0.76±0.22	0.74±0.21
50	0.48±0.06	0.41±0.03	0.52±0.05	5.72±0.88	5.93±0.42	7.04±0.65	4.69±1.97	2.31±1.22	3.75±2.32
63	6.46±0.28	9.34±0.25	1.61±0.21	3.35±0.62	4.04±0.60	4.02±0.48	2.82±1.03	4.39±1.58	2.82±1.10
80	1.10±0.10	0.92±0.12	0.63±0.07	12.57±0.49	13.81±0.48	8.39±0.55	7.35±0.62	19.95±1.44	5.03±0.96
100	1.09±0.07	0.74±0.03	0.48±0.02	5.42±0.55	4.15±0.90	1.34±0.15	20.27±4.26	18.3±3.54	8.19±1.68
125	1.90±0.12	1.44±0.06	1.38±0.05	3.15±0.67	1.59±0.19	0.94±0.04	2.42±0.55	4.11±1.02	1.42±0.34
160	3.05±0.26	1.23±0.17	0.62±0.05	10.73±0.97	6.53±0.48	2.30±0.21	10.34±2.21	7.86±1.25	4.11±0.32
200	5.85±0.48	2.17±0.26	0.88±0.07	5.66±0.91	3.81±0.20	1.58±0.12	24.79±3.98	14.47±7.87	5.31±2.47
250	2.13±0.10	2.15±0.10	0.71±0.03	5.06±0.27	7.31±0.47	2.72±0.21	12.27±1.72	12.37±1.67	2.84±0.42
315	3.30±0.26	3.05±0.10	0.81±0.10	4.73±0.69	9.78±0.38	3.65±0.30	19.02±3.45	23.78±6.09	5.51±1.03
400	1.52±0.11	2.18±0.09	0.76±0.07	3.04±0.30	5.11±0.15	2.26±0.04	8.09±0.90	14.39±1.85	4.15±0.76
500	0.61±0.04	1.18±0.11	0.45±0.00	1.25±0.21	2.62±0.11	1.59±0.05	2.91±0.25	7.40±0.83	3.52±0.14
630	0.26±0.00	0.43±0.02	0.23±0.01	0.47±0.01	1.80±0.18	0.79±0.08	1.23±0.10	3.20±0.18	1.69±0.08
800	0.26±0.00	0.72±0.04	0.25±0.00	0.43±0.04	2.97±0.26	0.56±0.06	0.82±0.11	3.72±0.57	1.53±0.22
1000	0.31±0.00	0.63±0.02	0.30±0.01	0.88±0.17	4.63±0.26	1.04±0.09	1.20±0.24	3.24±0.54	0.97±0.15
1250	0.37±0.01	0.45±0.01	0.36±0.01	0.55±0.02	1.78±0.15	0.46±0.01	1.14±0.16	2.34±0.28	0.59±0.03

附表 1-10 第七組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.23±0.50	0.42±0.57	0.01±0.00	0.01±0.02	0.00±0.00	0.11±0.24
8	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.26±0.56	0.48±0.64	0.01±0.00	0.03±0.03	0.01±0.00	0.13±0.27
10	0.04±0.01	0.04±0.01	0.01±0.01	0.31±0.62	0.54±0.71	0.01±0.00	0.07±0.09	0.02±0.00	0.15±0.30
12.5	0.09±0.03	0.11±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01	0.03±0.01	0.12±0.16	0.06±0.01	0.03±0.01
16	0.18±0.04	0.36±0.04	0.15±0.02	0.11±0.02	0.18±0.02	0.07±0.01	0.17±0.18	0.16±0.02	0.06±0.02
20	0.19±0.04	0.31±0.04	0.16±0.03	0.21±0.06	0.27±0.01	0.13±0.01	3.35±6.89	0.38±0.03	0.19±0.02
25	0.24±0.04	0.24±0.03	0.17±0.02	0.33±0.04	0.35±0.03	0.22±0.03	1.12±1.57	0.49±0.05	0.26±0.05
31.5	0.31±0.06	0.25±0.03	0.17±0.02	1.27±0.24	0.82±0.12	0.77±0.18	1.77±2.84	0.45±0.08	0.26±0.04
40	0.38±0.15	0.21±0.04	0.20±0.04	2.62±0.29	1.96±0.21	1.63±0.13	13.84±2.5	11.05±0.46	9.76±0.80
50	0.40±0.10	0.35±0.03	0.32±0.04	4.48±1.49	5.84±0.52	5.61±0.84	5.10±2.07	3.15±1.02	3.16±0.92
63	3.66±0.58	11.04±0.8	3.28±0.79	4.65±0.88	8.37±1.27	1.92±0.22	6.18±1.17	14.01±0.8	8.38±1.12
80	0.67±0.18	0.66±0.05	0.24±0.05	4.46±0.55	6.72±0.79	1.68±0.25	9.95±1.66	14.64±1.33	5.13±0.59
100	0.81±0.16	0.41±0.06	0.37±0.04	5.06±0.20	1.85±0.12	1.67±0.08	8.21±1.37	7.42±2.01	2.59±0.97
125	3.32±0.41	2.48±0.09	0.81±0.20	3.57±0.57	1.18±0.14	1.47±0.15	4.71±0.28	3.31±0.48	2.23±0.26
160	0.75±0.18	1.11±0.05	0.26±0.05	4.05±0.30	2.78±0.25	1.36±0.20	10.1±1.23	11.68±1.13	3.75±0.23
200	1.50±0.15	2.50±0.11	0.31±0.03	3.81±0.29	4.43±0.27	1.61±0.30	6.98±1.42	6.77±0.33	3.23±0.11
250	2.81±0.63	2.46±0.31	0.99±0.15	2.60±0.32	4.68±0.46	1.75±0.32	4.91±1.29	8.94±0.74	4.43±0.26
315	1.91±0.27	4.46±0.55	1.33±0.11	3.24±0.13	6.20±0.16	2.75±0.30	8.06±3.91	14.37±1.66	10.13±1.17
400	1.38±0.06	2.94±0.29	0.90±0.06	2.78±0.16	5.57±0.18	2.62±0.17	6.39±3.09	14.54±1.74	8.54±1.01
500	0.51±0.07	1.38±0.14	0.52±0.04	1.68±0.07	2.90±0.23	1.79±0.23	2.63±0.74	7.51±1.20	4.91±0.65
630	0.38±0.04	0.77±0.09	0.33±0.02	0.80±0.05	1.29±0.05	0.79±0.07	1.28±0.10	2.82±0.29	2.12±0.27
800	0.35±0.02	0.62±0.07	0.32±0.03	1.00±0.11	2.30±0.22	1.13±0.07	2.77±2.94	4.84±0.30	2.89±0.29
1000	0.39±0.03	0.51±0.02	0.34±0.02	1.36±0.09	3.26±0.25	1.50±0.15	6.88±12.09	5.41±0.26	2.66±0.25
1250	0.42±0.02	0.44±0.01	0.38±0.01	0.58±0.02	1.01±0.03	0.55±0.02	1.30±0.18	3.33±0.18	1.47±0.11

附表 1-11 第八組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.12±0.25	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.04±0.01	0.02±0.00	0.01±0.00	0.14±0.28	0.01±0.00	0.01±0.00	0.03±0.00	0.03±0.01	0.02±0.00
10	0.15±0.02	0.13±0.02	0.04±0.00	0.18±0.30	0.04±0.00	0.02±0.00	0.07±0.00	0.08±0.02	0.04±0.01
12.5	0.21±0.03	0.25±0.02	0.08±0.01	0.13±0.03	0.16±0.03	0.04±0.01	0.20±0.01	0.23±0.03	0.09±0.02
16	0.12±0.01	0.19±0.03	0.09±0.01	0.46±0.28	0.54±0.20	0.11±0.04	0.57±0.22	1.21±0.17	0.19±0.04
20	0.17±0.02	0.15±0.02	0.13±0.01	1.13±0.18	0.98±0.15	0.25±0.04	0.60±0.17	0.99±0.18	0.20±0.02
25	0.20±0.02	0.11±0.01	0.14±0.01	2.12±0.36	1.17±0.11	0.55±0.13	0.48±0.14	0.51±0.15	0.21±0.03
31.5	0.29±0.03	0.20±0.01	0.22±0.02	2.45±0.59	1.32±0.08	0.86±0.10	0.65±0.18	0.79±0.28	0.56±0.07
40	0.45±0.09	0.17±0.02	0.36±0.09	1.46±0.19	1.25±0.36	1.39±0.30	0.72±0.20	0.76±0.20	1.12±0.20
50	8.53±0.55	4.07±0.34	3.71±1.02	4.25±1.39	6.53±1.32	7.29±1.82	1.26±0.13	1.12±0.12	1.15±0.19
63	0.90±0.20	1.24±0.15	0.89±0.14	8.03±0.94	8.72±0.52	7.07±1.09	1.49±0.14	1.56±0.12	1.24±0.13
80	1.12±0.22	1.18±0.10	0.55±0.05	8.43±0.59	9.11±1.31	7.21±1.80	16.31±3.86	19.88±4.32	7.81±1.11
100	1.46±0.34	1.63±0.20	0.87±0.09	5.23±2.98	5.82±3.43	2.99±2.53	14.84±2.04	15.02±4.64	7.13±1.39
125	1.01±0.13	0.46±0.04	0.38±0.02	5.86±0.99	7.78±1.14	1.93±0.31	4.90±1.99	5.31±3.44	2.67±0.50
160	2.85±0.27	1.43±0.08	0.75±0.03	14.54±1.43	5.90±1.99	3.85±0.73	13.83±3.08	9.02±2.42	4.55±0.30
200	2.79±0.32	1.46±0.09	0.45±0.05	13.91±2.48	6.01±0.91	2.67±0.66	35.95±6.34	28.83±7.57	8.69±2.11
250	1.49±0.13	2.32±0.21	0.75±0.05	10.26±1.43	8.83±0.58	2.41±0.71	33.62±19.1	37.44±22.37	9.03±4.08
315	2.23±0.14	3.98±0.81	1.19±0.15	10.04±2.52	11.92±2.75	3.16±1.18	10.83±0.62	19.12±0.99	5.39±0.75
400	0.92±0.13	1.80±0.15	0.72±0.11	4.02±1.07	8.29±2.42	2.65±0.55	10.19±2.01	25.34±3.56	9.47±0.48
500	0.52±0.04	0.89±0.02	0.51±0.04	1.69±0.42	4.00±0.82	1.93±0.31	3.60±0.72	10.58±1.66	5.39±1.01
630	0.31±0.01	0.50±0.01	0.31±0.00	0.67±0.16	1.76±0.25	1.00±0.15	2.39±0.96	4.53±1.31	2.18±0.29
800	0.37±0.01	0.70±0.05	0.33±0.01	0.60±0.11	2.22±0.29	0.90±0.20	2.09±0.90	4.98±1.11	2.08±0.27
1000	0.46±0.01	0.76±0.04	0.40±0.01	1.04±0.14	2.79±0.22	0.73±0.05	2.13±0.22	3.52±0.70	1.49±0.21
1250	0.46±0.01	0.52±0.02	0.41±0.00	0.68±0.07	1.19±0.09	0.53±0.03	1.54±0.09	2.36±0.37	1.35±0.14

附表 1-12 第八組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.02±0.02	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.01±0.01
8	0.04±0.01	0.03±0.00	0.01±0.00	0.05±0.03	0.03±0.01	0.02±0.01	0.04±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01
10	0.13±0.02	0.09±0.01	0.03±0.00	0.10±0.07	0.06±0.01	0.03±0.01	0.09±0.01	0.10±0.02	0.06±0.02
12.5	0.18±0.03	0.16±0.02	0.06±0.01	0.24±0.14	0.23±0.03	0.08±0.01	0.18±0.04	0.29±0.05	0.11±0.02
16	0.13±0.03	0.14±0.02	0.09±0.01	1.17±0.50	1.46±0.31	0.29±0.15	0.70±0.11	1.77±0.09	0.34±0.05
20	0.17±0.01	0.15±0.02	0.12±0.00	2.39±0.70	2.41±0.42	0.51±0.21	0.76±0.18	1.24±0.24	0.46±0.08
25	0.24±0.02	0.21±0.01	0.16±0.02	3.88±0.61	2.94±0.36	0.88±0.10	0.68±0.10	0.70±0.09	0.42±0.03
31.5	0.28±0.05	0.18±0.03	0.18±0.04	2.98±1.84	2.25±1.07	0.80±0.34	1.07±0.06	0.87±0.14	0.75±0.05
40	0.67±0.12	0.23±0.06	0.36±0.12	2.06±1.25	1.47±0.97	0.79±0.29	2.02±0.22	1.32±0.24	1.48±0.17
50	2.84±0.54	5.36±0.36	4.36±1.04	2.32±0.29	6.04±1.02	4.58±1.31	1.64±0.09	1.36±0.10	1.24±0.06
63	0.70±0.12	0.65±0.13	0.44±0.19	2.86±0.72	9.99±1.65	6.08±1.20	1.54±0.21	1.76±0.16	1.11±0.13
80	0.61±0.11	0.54±0.06	0.27±0.04	5.36±1.04	9.89±0.89	5.00±0.37	4.77±0.77	7.74±0.80	4.14±0.50
100	2.72±0.50	2.60±0.22	1.15±0.26	7.96±4.22	5.24±1.49	2.10±0.54	8.69±2.58	9.33±3.42	6.49±2.46
125	0.61±0.10	0.39±0.05	0.31±0.03	9.25±1.82	13.23±2.12	3.35±0.65	24.03±8.7	12.89±2.62	13.24±1.93
160	1.10±0.15	1.16±0.14	0.53±0.05	12.16±2.62	12.67±2.33	4.10±1.18	12.72±1.78	12.63±1.14	3.67±0.63
200	1.21±0.21	1.71±0.25	0.39±0.04	7.38±2.14	9.15±1.00	2.35±0.52	27.25±9.74	18.65±6.44	9.34±4.24
250	2.38±0.63	1.57±0.06	0.66±0.10	5.44±0.68	13.22±0.53	2.67±0.33	75.56±11.12	42.47±7.62	33.64±7.29
315	2.33±0.24	3.59±0.27	1.26±0.14	6.34±0.21	14.58±0.88	4.65±1.34	15.76±2.01	16.19±1.30	7.64±0.99
400	1.19±0.23	1.29±0.11	0.68±0.08	3.38±0.49	11.72±0.81	4.52±0.31	16.18±2.47	20.84±1.59	9.51±1.77
500	0.77±0.15	1.51±0.27	0.57±0.08	1.55±0.45	6.15±0.95	2.98±0.43	9.72±1.03	14.81±3.33	7.9±1.43
630	0.42±0.06	0.67±0.15	0.38±0.03	0.74±0.18	2.51±0.44	0.96±0.24	5.63±0.89	5.44±0.32	3.83±0.60
800	0.41±0.04	0.66±0.15	0.49±0.11	0.84±0.12	3.04±0.56	0.90±0.34	5.51±1.75	8.02±0.91	3.89±0.37
1000	0.42±0.02	0.61±0.04	0.48±0.02	0.96±0.25	3.41±0.38	0.80±0.29	2.98±0.37	5.88±0.26	2.86±0.18
1250	0.40±0.01	0.45±0.04	0.37±0.02	0.56±0.04	1.24±0.18	0.49±0.05	1.99±0.19	3.53±0.32	1.76±0.16

附表 1-13 第九組實驗－軟管式割草機、使用尼龍繩

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.01	0.00±0.00	0.00±0.00	0.02±0.03	0.01±0.01	0.01±0.00	0.03±0.04	0.01±0.00	0.05±0.09
8	0.01±0.01	0.01±0.00	0.00±0.00	0.03±0.03	0.03±0.00	0.01±0.01	0.03±0.02	0.03±0.01	0.06±0.10
10	0.02±0.01	0.01±0.01	0.01±0.00	0.04±0.02	0.07±0.01	0.03±0.01	0.05±0.02	0.08±0.02	0.08±0.10
12.5	0.04±0.01	0.05±0.03	0.03±0.00	0.06±0.02	0.12±0.03	0.05±0.02	0.09±0.01	0.21±0.03	0.08±0.03
16	0.08±0.01	0.13±0.03	0.06±0.01	0.11±0.02	0.23±0.07	0.10±0.03	0.21±0.02	0.51±0.06	0.18±0.05
20	0.1±0.03	0.14±0.04	0.08±0.02	0.25±0.02	0.34±0.09	0.24±0.05	0.47±0.10	0.87±0.14	0.47±0.10
25	0.17±0.07	0.19±0.05	0.15±0.04	0.46±0.09	0.60±0.16	0.50±0.14	0.47±0.06	1.17±0.09	0.82±0.08
31.5	0.57±0.13	0.73±0.10	0.64±0.09	0.78±0.09	1.12±0.15	0.87±0.09	0.63±0.04	1.62±0.26	1.06±0.26
40	0.21±0.05	0.50±0.10	0.41±0.05	1.60±0.12	3.38±0.11	2.11±0.18	1.55±0.27	3.74±0.12	2.32±0.19
50	1.05±0.14	2.22±0.58	1.17±0.18	3.90±0.31	5.37±0.62	1.84±0.43	2.99±0.26	3.27±0.34	1.06±0.10
63	0.40±0.07	0.41±0.08	0.28±0.03	3.78±0.56	3.07±0.48	1.27±0.29	20.74±1.42	9.98±1.59	4.82±0.71
80	0.40±0.09	0.37±0.14	0.25±0.07	5.87±1.62	4.03±1.16	1.47±0.30	15.19±2.57	8.72±1.25	3.98±0.53
100	0.63±0.11	0.65±0.12	0.36±0.08	2.87±0.68	2.20±0.42	0.87±0.17	9.46±2.45	7.63±2.76	2.81±0.90
125	0.32±0.08	0.19±0.05	0.12±0.01	2.68±0.59	1.50±0.14	0.72±0.11	5.12±1.13	4.22±0.87	1.31±0.26
160	0.44±0.02	0.26±0.04	0.16±0.01	2.15±0.52	1.83±0.05	0.77±0.06	4.08±0.77	3.55±0.75	1.12±0.21
200	0.27±0.03	0.19±0.03	0.14±0.01	1.27±0.20	1.92±0.20	0.59±0.04	1.62±0.19	3.01±0.32	0.95±0.11
250	0.25±0.03	0.25±0.02	0.16±0.01	1.25±0.22	2.56±0.22	0.86±0.06	1.78±0.27	3.46±0.42	1.30±0.07
315	0.20±0.01	0.39±0.07	0.20±0.02	1.46±0.31	3.50±0.19	1.32±0.04	2.83±0.34	5.23±0.27	2.18±0.19
400	0.19±0.01	0.47±0.06	0.20±0.01	1.10±0.19	2.80±0.20	1.64±0.13	1.84±0.20	4.07±0.35	2.59±0.18
500	0.2±0.01	0.29±0.03	0.19±0.01	0.98±0.08	2.48±0.18	2.23±0.24	1.61±0.11	3.28±0.25	3.61±0.16
630	0.21±0.00	0.21±0.01	0.20±0.01	0.75±0.09	2.21±0.13	1.44±0.06	1.15±0.08	3.06±0.40	2.23±0.22
800	0.27±0.01	0.28±0.02	0.27±0.01	0.69±0.10	1.61±0.07	1.74±0.05	1.22±0.20	2.28±0.30	2.57±0.21
1000	0.32±0.01	0.33±0.02	0.31±0.01	0.65±0.17	1.23±0.09	1.28±0.09	1.00±0.14	1.54±0.24	1.57±0.12
1250	0.36±0.01	0.35±0.01	0.35±0.02	0.44±0.03	0.61±0.05	0.46±0.04	0.57±0.06	0.88±0.11	0.69±0.04

附表 1-14 第十組實驗－軟管式割草機、使用二片刀

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.02±0.02	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.08±0.16
8	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.03±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.09±0.18
10	0.01±0.00	0.01±0.01	0.01±0.00	0.02±0.01	0.05±0.02	0.02±0.00	0.02±0.00	0.04±0.01	0.10±0.19
12.5	0.03±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00	0.06±0.01	0.10±0.02	0.03±0.00	0.05±0.01	0.08±0.02	0.03±0.00
16	0.05±0.01	0.12±0.02	0.06±0.01	0.16±0.04	0.23±0.04	0.07±0.02	0.11±0.01	0.15±0.02	0.07±0.01
20	0.11±0.03	0.16±0.03	0.10±0.01	0.39±0.14	0.42±0.10	0.17±0.08	0.23±0.02	0.25±0.03	0.15±0.02
25	0.11±0.04	0.20±0.04	0.17±0.03	0.67±0.12	0.54±0.13	0.59±0.04	0.29±0.01	0.39±0.06	0.35±0.06
31.5	0.17±0.04	0.42±0.09	0.35±0.04	0.44±0.20	0.65±0.20	0.53±0.07	0.38±0.02	0.71±0.03	0.69±0.05
40	0.31±0.18	0.71±0.60	0.54±0.38	0.62±0.31	0.71±0.26	0.65±0.14	0.37±0.04	0.63±0.04	0.51±0.04
50	0.20±0.03	0.66±0.12	0.54±0.12	2.15±0.50	1.39±0.07	1.69±0.40	0.47±0.04	0.70±0.08	0.46±0.08
63	0.19±0.06	0.49±0.15	0.35±0.08	5.45±1.33	4.42±0.98	1.92±0.35	9.56±6.30	6.54±4.32	2.94±2.17
80	0.27±0.15	0.47±0.30	0.28±0.05	3.50±1.23	3.17±1.23	3.19±0.88	44.1±8.03	34.76±10.52	8.72±0.46
100	0.55±0.10	0.62±0.10	0.37±0.07	3.94±0.73	6.15±1.02	1.84±0.15	13.28±1.51	4.47±1.56	3.80±0.50
125	0.36±0.09	0.42±0.04	0.22±0.04	3.78±0.64	9.05±0.81	2.34±0.21	6.40±1.91	4.23±2.01	1.65±0.59
160	0.38±0.03	0.34±0.02	0.20±0.01	2.73±0.30	4.63±0.41	1.44±0.14	10.74±1.16	10.41±1.73	2.88±0.66
200	0.32±0.03	0.22±0.02	0.16±0.01	1.83±0.27	5.17±0.99	1.29±0.27	2.75±0.77	6.42±1.47	2.29±0.52
250	0.35±0.05	0.30±0.03	0.21±0.02	1.46±0.12	3.29±0.40	1.20±0.15	2.44±0.28	6.65±2.13	2.50±0.62
315	0.27±0.04	0.37±0.03	0.22±0.02	1.60±0.25	5.56±0.60	2.13±0.27	3.92±0.70	7.67±0.49	3.50±0.12
400	0.20±0.02	0.32±0.06	0.18±0.01	1.51±0.17	5.02±0.76	2.33±0.30	2.87±0.28	8.22±0.61	4.27±0.36
500	0.21±0.01	0.28±0.01	0.22±0.01	1.38±0.12	3.53±0.47	2.78±0.31	2.71±0.15	5.68±0.70	4.82±0.26
630	0.25±0.01	0.26±0.01	0.24±0.01	0.75±0.08	3.18±0.40	2.54±0.35	1.84±0.21	4.97±0.46	5.27±0.34
800	0.33±0.01	0.33±0.01	0.32±0.00	0.81±0.11	2.38±0.32	2.41±0.29	1.35±0.15	4.56±0.31	4.13±0.41
1000	0.39±0.01	0.40±0.01	0.37±0.01	0.69±0.08	1.90±0.24	1.25±0.12	1.12±0.11	2.87±0.24	1.84±0.34
1250	0.43±0.01	0.41±0.01	0.38±0.01	0.53±0.02	1.02±0.09	0.66±0.04	0.91±0.15	1.39±0.09	0.75±0.11

附表 1-15 第十一組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	0.07±0.11	0.01±0.01	0.02±0.01	0.05±0.08
8	0.03±0.01	0.02±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.08±0.12	0.02±0.01	0.02±0.01	0.06±0.10
10	0.11±0.03	0.09±0.01	0.02±0.01	0.03±0.00	0.03±0.00	0.10±0.14	0.04±0.02	0.05±0.02	0.07±0.10
12.5	0.15±0.03	0.24±0.01	0.04±0.01	0.06±0.01	0.10±0.01	0.03±0.00	0.08±0.03	0.13±0.03	0.22±0.37
16	0.08±0.02	0.23±0.02	0.07±0.02	0.11±0.01	0.20±0.02	0.07±0.01	0.12±0.04	0.24±0.04	0.24±0.37
20	0.14±0.02	0.15±0.02	0.12±0.01	0.15±0.02	0.23±0.02	0.10±0.01	0.21±0.04	0.28±0.05	0.32±0.47
25	0.19±0.02	0.12±0.01	0.16±0.01	0.24±0.03	0.25±0.04	0.17±0.04	0.56±0.07	0.48±0.06	0.97±1.54
31.5	0.41±0.13	0.54±0.06	0.52±0.11	0.65±0.05	0.62±0.04	0.59±0.05	0.61±0.14	0.43±0.05	1.76±3.36
40	0.40±0.08	0.21±0.03	0.66±0.07	4.45±1.50	3.82±0.97	3.33±0.59	1.53±0.13	1.00±0.27	1.99±2.22
50	3.20±0.24	1.75±0.13	7.02±0.32	3.96±0.33	4.96±0.69	6.28±0.65	4.95±1.37	3.49±0.71	4.44±2.28
63	0.70±0.09	1.16±0.08	0.66±0.05	3.31±0.77	4.77±0.50	4.24±0.72	5.66±0.72	15.43±2.73	7.41±3.43
80	0.76±0.06	0.79±0.06	0.48±0.06	8.50±1.03	11.24±1.36	6.94±1.24	6.77±1.81	13.5±1.23	4.89±1.35
100	1.05±0.15	1.17±0.21	0.77±0.13	4.09±0.53	4.09±0.72	1.03±0.12	17.85±1.79	20.23±1.52	6.23±1.99
125	0.82±0.10	0.45±0.06	0.53±0.07	2.10±0.47	1.51±0.11	1.32±0.08	3.59±1.42	4.99±0.92	2.46±1.23
160	0.96±0.04	1.02±0.05	0.60±0.05	11.94±3.14	11.9±2.28	3.97±0.66	9.33±2.87	7.31±1.77	4.59±1.47
200	1.54±0.05	0.88±0.08	0.39±0.02	5.57±0.59	3.79±0.23	1.61±0.07	15.23±2.42	7.94±1.02	3.87±0.78
250	1.88±0.16	1.58±0.09	0.72±0.03	8.99±1.67	6.70±1.27	3.42±0.44	8.70±2.47	7.17±0.37	4.16±1.11
315	4.43±0.33	2.59±0.30	1.32±0.14	9.90±1.65	12.55±1.46	5.56±0.59	13.94±4.69	11.83±0.94	5.63±2.63
400	1.22±0.12	1.00±0.08	0.77±0.06	4.26±0.67	6.19±0.71	2.70±0.08	7.82±1.92	10.14±1.15	4.85±2.33
500	0.56±0.04	1.08±0.07	0.36±0.01	1.53±0.11	4.70±0.35	1.86±0.21	2.10±0.16	5.13±1.27	2.23±0.64
630	0.29±0.01	0.40±0.02	0.22±0.00	0.92±0.09	1.97±0.18	0.70±0.11	1.15±0.03	2.44±0.30	0.92±0.26
800	0.27±0.00	0.31±0.01	0.25±0.00	1.03±0.06	2.86±0.25	0.87±0.11	1.27±0.14	2.72±0.23	1.77±1.98
1000	0.50±0.01	0.55±0.02	0.35±0.02	1.90±0.23	2.54±0.27	1.14±0.19	1.51±0.07	1.72±0.08	4.50±7.31
1250	0.38±0.00	0.39±0.01	0.34±0.01	0.86±0.12	1.03±0.15	0.46±0.04	1.29±0.10	1.40±0.13	0.61±0.22

附表 1-16 第十一組實驗—硬管式割草機、使用尼龍繩、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.02±0.03	0.02±0.03	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.03±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.05±0.10	0.02±0.03	0.02±0.00	0.01±0.01	0.01±0.00
10	0.11±0.02	0.07±0.01	0.04±0.01	0.02±0.00	0.08±0.12	0.03±0.03	0.03±0.00	0.03±0.01	0.02±0.01
12.5	0.14±0.03	0.13±0.03	0.06±0.01	0.06±0.01	0.14±0.14	0.03±0.00	0.07±0.01	0.09±0.02	0.03±0.01
16	0.10±0.02	0.15±0.04	0.07±0.00	0.12±0.02	0.35±0.23	0.06±0.00	0.11±0.02	0.22±0.06	0.06±0.01
20	0.16±0.03	0.15±0.03	0.10±0.01	0.22±0.03	0.69±0.81	0.11±0.00	0.26±0.03	0.34±0.09	0.13±0.01
25	0.21±0.02	0.19±0.03	0.14±0.01	0.41±0.06	1.12±1.68	0.15±0.04	0.57±0.13	0.57±0.15	0.15±0.03
31.5	0.28±0.05	0.18±0.04	0.13±0.01	1.30±0.25	2.28±3.38	0.44±0.07	0.72±0.06	0.45±0.06	0.22±0.04
40	0.83±0.34	0.27±0.09	0.89±0.31	2.51±0.35	3.06±2.68	1.11±0.07	10.76±3.22	5.82±1.36	5.21±1.18
50	1.42±0.25	0.85±0.10	2.64±0.35	3.50±0.27	3.73±0.77	3.17±0.48	8.46±1.18	6.24±0.64	4.89±0.93
63	0.37±0.03	0.51±0.04	0.25±0.02	4.43±0.65	7.42±3.25	2.99±0.40	5.67±0.36	12.33±1.67	4.87±1.19
80	0.58±0.16	0.68±0.16	0.31±0.09	4.53±0.74	7.26±1.67	2.71±0.35	7.48±2.43	14.56±2.13	7.29±0.89
100	1.24±0.11	1.52±0.18	0.63±0.13	4.62±1.03	3.09±1.42	1.56±0.25	11.22±1.95	13.60±7.83	4.83±1.56
125	0.40±0.02	0.34±0.04	0.32±0.03	2.93±0.43	2.51±1.68	1.08±0.04	4.82±1.22	3.76±0.43	1.24±0.15
160	1.08±0.13	1.01±0.17	0.33±0.04	5.72±0.56	5.68±1.74	1.40±0.07	12.88±1.68	19.05±3.60	6.12±0.78
200	1.97±0.27	1.27±0.10	0.37±0.02	4.07±0.38	5.89±1.17	0.73±0.07	8.60±4.08	9.88±1.92	3.02±0.62
250	1.69±0.12	2.06±0.18	0.39±0.04	3.53±0.91	5.82±0.46	1.04±0.08	4.34±2.08	10.67±2.69	2.6±0.24
315	1.40±0.16	4.05±0.44	0.52±0.05	3.71±1.42	7.56±3.13	1.51±0.20	3.23±1.20	12.91±2.50	3.88±0.34
400	0.84±0.08	1.34±0.11	0.44±0.07	2.11±0.50	6.96±2.57	2.23±0.18	3.37±1.43	14.97±4.29	5.25±1.62
500	0.37±0.03	1.58±0.10	0.49±0.05	1.13±0.17	4.96±1.37	2.11±0.13	1.57±0.25	8.42±2.11	2.67±0.92
630	0.27±0.01	0.43±0.04	0.29±0.03	0.41±0.04	1.85±0.64	0.75±0.09	0.82±0.17	3.37±0.56	0.99±0.34
800	0.30±0.01	0.39±0.02	0.30±0.02	0.49±0.03	3.86±2.64	0.57±0.14	1.07±0.18	3.94±0.21	0.85±0.16
1000	0.40±0.01	0.67±0.11	0.37±0.02	0.63±0.06	6.13±8.12	0.50±0.08	1.12±0.16	4.33±0.53	0.93±0.09
1250	0.41±0.01	0.40±0.01	0.38±0.01	0.47±0.01	0.76±0.15	0.42±0.02	0.90±0.15	2.08±0.26	0.72±0.08

附表 1-17 第十二組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測右手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.25±0.36
8	0.04±0.01	0.02±0.00	0.04±0.01	0.02±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00	0.28±0.40
10	0.16±0.02	0.10±0.01	0.15±0.02	0.05±0.01	0.05±0.01	0.03±0.01	0.06±0.00	0.05±0.01	0.32±0.44
12.5	0.19±0.03	0.19±0.02	0.18±0.03	0.14±0.03	0.17±0.03	0.08±0.02	0.19±0.04	0.25±0.05	0.07±0.01
16	0.10±0.02	0.20±0.03	0.09±0.02	0.41±0.23	0.62±0.24	0.18±0.07	0.95±0.20	1.55±0.26	0.29±0.07
20	0.17±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.86±0.37	0.88±0.30	0.38±0.15	1.14±0.30	1.25±0.19	0.30±0.07
25	0.22±0.03	0.09±0.00	0.21±0.02	1.19±0.17	0.75±0.05	0.55±0.05	0.64±0.16	0.41±0.04	0.27±0.02
31.5	0.28±0.01	0.13±0.01	0.27±0.01	1.61±0.87	0.97±0.59	0.91±0.40	0.65±0.07	0.57±0.06	0.71±0.14
40	1.24±0.39	0.38±0.11	1.11±0.34	1.37±0.58	1.39±0.36	1.54±0.32	0.66±0.15	0.67±0.03	1.05±0.17
50	7.62±0.51	2.05±0.17	7.16±0.49	2.57±0.22	7.41±2.42	9.85±3.21	1.00±0.09	0.84±0.09	1.15±0.24
63	0.40±0.03	0.85±0.06	0.38±0.03	6.08±0.96	8.48±0.75	7.91±1.97	2.99±1.03	5.40±2.07	2.91±1.16
80	0.94±0.08	0.96±0.08	0.88±0.07	7.57±2.61	10.57±2.71	5.36±1.49	12.67±0.94	24.99±1.69	10.81±1.92
100	0.97±0.10	1.39±0.11	0.92±0.09	3.80±0.89	4.36±1.93	1.74±0.63	16.57±0.64	19.3±1.89	8.33±0.51
125	0.88±0.07	0.68±0.11	0.83±0.07	4.77±0.67	7.59±1.00	2.40±0.60	4.53±2.63	3.02±1.92	2.72±2.21
160	1.51±0.09	0.77±0.07	1.41±0.07	11.03±1.72	7.48±2.85	4.08±0.68	16.78±2.83	9.97±0.99	6.83±1.38
200	1.77±0.11	0.96±0.09	1.63±0.08	9.42±0.79	5.60±0.73	2.54±0.20	14.26±1.20	11.06±1.70	5.29±2.20
250	1.17±0.16	1.85±0.10	1.10±0.15	7.86±1.12	8.15±1.37	4.21±0.59	11.81±6.68	17.97±14.93	9.77±13.7
315	1.35±0.22	2.93±0.24	1.28±0.20	7.71±1.55	10.06±2.55	5.73±1.50	9.84±1.08	20.02±3.41	7.11±1.80
400	0.70±0.07	1.53±0.15	0.65±0.06	4.20±0.41	6.94±0.93	3.78±0.48	9.30±0.48	22.77±2.08	10.2±1.69
500	0.65±0.03	1.14±0.06	0.61±0.03	1.72±0.28	4.41±0.38	2.16±0.20	3.26±0.21	6.77±1.00	4.34±0.33
630	0.37±0.01	0.54±0.03	0.35±0.02	0.95±0.13	1.91±0.16	0.81±0.07	1.36±0.20	3.49±0.24	1.72±0.09
800	0.47±0.02	0.72±0.06	0.45±0.02	0.98±0.14	2.25±0.18	1.05±0.10	0.97±0.22	4.22±0.38	1.68±0.40
1000	0.48±0.01	0.53±0.01	0.45±0.02	1.52±0.31	2.17±0.37	1.15±0.21	1.16±0.14	4.13±0.38	1.14±0.24
1250	0.45±0.01	0.44±0.01	0.41±0.02	0.93±0.16	1.18±0.22	0.55±0.07	0.96±0.12	3.33±0.24	0.82±0.18

附表 1-18 第十二組實驗—硬管式割草機、使用二片刀、量測左手

Hz	引擎轉速為 3000rpm			引擎轉速為 4500rpm			引擎轉速為 6000rpm		
	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z	a_x	a_y	a_z
6.3	0.01±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
8	0.04±0.01	0.02±0.01	0.01±0.00	0.03±0.01	0.03±0.00	0.01±0.00	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0.00
10	0.11±0.01	0.08±0.00	0.04±0.00	0.06±0.01	0.07±0.01	0.03±0.01	0.06±0.01	0.06±0.02	0.03±0.01
12.5	0.12±0.02	0.12±0.01	0.06±0.00	0.21±0.08	0.27±0.03	0.09±0.01	0.19±0.03	0.30±0.07	0.10±0.02
16	0.09±0.02	0.12±0.02	0.08±0.02	1.10±0.96	1.65±0.66	0.37±0.32	1.60±0.29	2.51±0.43	0.49±0.11
20	0.16±0.02	0.13±0.00	0.11±0.02	2.85±2.06	2.82±1.70	0.85±0.69	1.87±0.67	1.96±0.56	0.38±0.08
25	0.19±0.02	0.14±0.02	0.08±0.01	3.89±0.25	3.08±0.49	1.26±0.22	1.03±0.06	0.83±0.04	0.31±0.04
31.5	0.30±0.02	0.21±0.01	0.20±0.00	1.64±0.74	1.55±0.41	0.71±0.09	1.04±0.20	0.89±0.11	0.56±0.06
40	0.55±0.04	0.26±0.06	0.42±0.16	1.31±0.39	0.93±0.21	0.64±0.11	1.28±0.16	0.71±0.10	0.75±0.07
50	2.01±0.21	3.61±0.56	2.75±0.32	2.99±0.33	6.42±2.09	3.53±1.36	1.25±0.16	1.17±0.07	1.31±0.12
63	0.58±0.08	0.84±0.07	0.47±0.14	3.25±0.86	9.14±2.88	4.63±1.51	3.65±1.44	6.93±3.09	2.08±0.67
80	0.52±0.12	0.72±0.11	0.18±0.03	3.43±1.26	8.95±1.85	2.70±0.71	10.34±1.00	20.18±2.04	5.30±0.82
100	1.55±0.09	2.23±0.14	0.78±0.13	4.99±0.34	5.42±1.91	2.32±0.38	22.53±4.10	21.53±1.74	11.27±0.85
125	0.66±0.17	0.48±0.08	0.40±0.08	4.67±0.95	11.24±1.92	4.19±0.61	6.45±5.29	4.62±3.38	3.61±2.34
160	0.85±0.10	1.30±0.16	0.64±0.12	14.48±3.87	13.68±4.21	6.49±1.94	17.98±1.78	16.32±2.03	6.76±0.87
200	1.11±0.13	1.24±0.15	0.40±0.03	6.69±0.81	7.22±1.09	3.78±0.62	10.94±3.84	21.24±3.24	14.21±5.19
250	2.11±0.27	1.49±0.15	0.67±0.09	4.78±0.29	15.72±3.75	7.35±1.69	7.06±4.71	15.16±7.32	11.79±9.73
315	1.84±0.22	3.93±0.46	1.36±0.05	5.59±0.81	16.54±3.63	11.93±2.68	9.16±0.97	13.88±1.17	16.74±1.16
400	1.34±0.13	1.51±0.05	0.65±0.02	3.89±0.37	13.65±1.54	8.01±1.60	8.39±0.83	15.71±1.77	18.09±1.62
500	0.80±0.11	1.41±0.23	0.54±0.03	2.48±0.24	8.76±0.84	5.60±0.75	2.95±0.44	7.18±0.82	8.85±0.66
630	0.42±0.01	0.67±0.05	0.35±0.01	0.89±0.03	2.93±0.31	2.27±0.27	1.38±0.17	3.42±0.50	3.62±0.40
800	0.45±0.01	0.82±0.11	0.47±0.05	0.71±0.05	3.36±0.33	2.19±0.16	1.23±0.14	4.77±0.53	4.02±0.36
1000	0.43±0.01	0.62±0.04	0.40±0.01	0.86±0.07	3.71±0.40	2.24±0.33	1.16±0.09	4.14±0.34	3.06±0.18
1250	0.48±0.02	0.53±0.02	0.42±0.02	0.70±0.06	1.56±0.17	0.86±0.12	1.15±0.14	2.48±0.25	1.61±0.13