

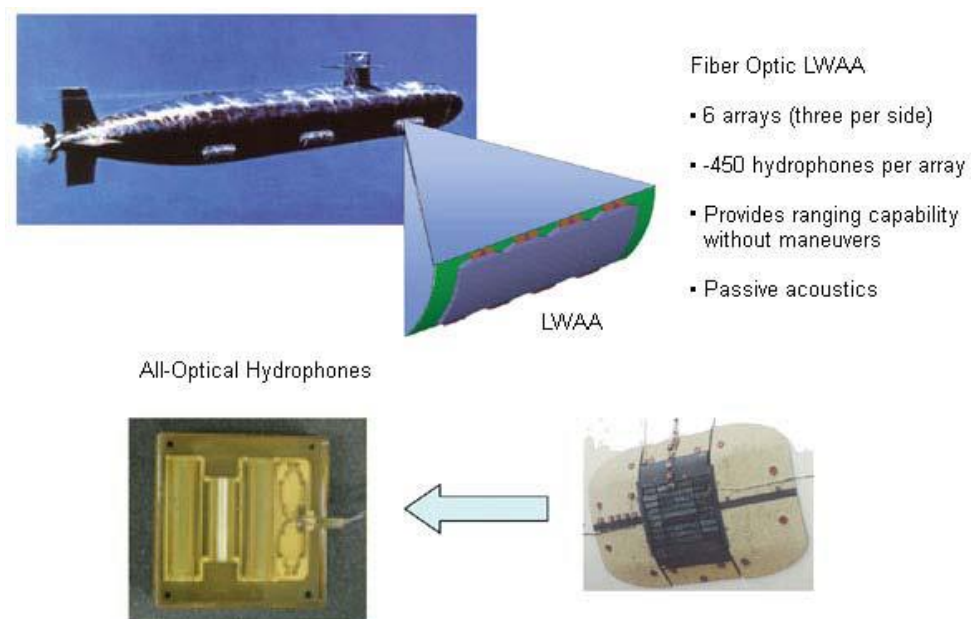
國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：光學干涉型之光纖式水聽器的模擬與驗證 (1/2)		計畫期限：112-113 年							
提案單位：飛彈所導航系統組 聯絡人：彭子軒 電話：(03)4712201# 356430									
項次	項目	研究內容							
一	計畫背景	<p>一、研究動機</p> <p>有鑒於中共的潛艦艦隊持續壯大，對我國的國防威脅程度逐漸升高，本案為發展水下偵知系統之光纖式水聽器關鍵技術，以強化我國的沿海防禦，防範中共的水下潛艦或自走雷突襲。</p> <p>二、國內外技術現況及發展趨勢</p> <p><u>光纖水聽器</u>是基於光纖光學干涉原理的一種新式水聽器，相較於現有壓電陶瓷水聽器(如表一)，具有電功率消耗低、重量輕、孔徑小、訊號雜訊比高、感測端易維護(無電子元件).....等優點，光纖水聽器更適合製成大規模水聽器陣列系統。</p>							
		<p>表一 光纖水聽器與傳統壓電陶瓷水聽器比較</p>							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>光纖水聽器</th> <th>壓電陶瓷水聽器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>優點</td> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. 電功率消耗較低(電子元件少)，水聽器感測頭內無電子元件。 2. 重量較輕，感測孔徑較小。 3. 量測動態範圍較大(120 dB~140 dB)。 4. 靈敏度高，可達-131 dB re 1V/uPa [11] 5. 不易被電磁干擾。 </td> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. 技術成熟，市售產品種類多。 </td> </tr> <tr> <td>缺點</td> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. 技術管制，市售產品多為商用的低階規格。 </td> <td> <ol style="list-style-type: none"> 1. 電功率消耗較高(電子元件多)。 2. 重量較重，感測孔徑較大。 3. 量測動態範圍較小(80 dB~90 dB)。 </td> </tr> </tbody> </table>		光纖水聽器	壓電陶瓷水聽器	優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電功率消耗較低(電子元件少)，水聽器感測頭內無電子元件。 2. 重量較輕，感測孔徑較小。 3. 量測動態範圍較大(120 dB~140 dB)。 4. 靈敏度高，可達-131 dB re 1V/uPa [11] 5. 不易被電磁干擾。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術成熟，市售產品種類多。 	缺點
	光纖水聽器	壓電陶瓷水聽器							
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電功率消耗較低(電子元件少)，水聽器感測頭內無電子元件。 2. 重量較輕，感測孔徑較小。 3. 量測動態範圍較大(120 dB~140 dB)。 4. 靈敏度高，可達-131 dB re 1V/uPa [11] 5. 不易被電磁干擾。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術成熟，市售產品種類多。 							
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術管制，市售產品多為商用的低階規格。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電功率消耗較高(電子元件多)。 2. 重量較重，感測孔徑較大。 3. 量測動態範圍較小(80 dB~90 dB)。 							

- | | |
|--|--|
| | 4. 靈敏度有限制，約-165 dB re 1V/uPa [1]
5. 易被電磁干擾。 |
|--|--|

光纖式水聽器自 1988 年美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)發表研究報告，已被運用於美、英、法、日、澳等各國水下偵知系統上，並隨著光纖感測技術的進步，至今仍有相關學術論文產出。光纖式水聽器技術以美國最為領先，且已取代傳統壓電陶瓷式水聽器作為水下偵知的主要感測器，2002 年美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)與英國 QinetiQ 公司合作研製海底固定陣列(Fiber Optic Bottom Mounted Array, FOBMA)系統，其系統設計的工作水深大於 300 m，工作時間大於 1 年，這個系統被裝置於加拿大 Halifax, Nova Scotia 的海岸，在水深條件 50 m 下，在 40 km 遠端傳輸距離的情況下，實際探測距離達到 9 km。除了 FOBMA 系統以外，美軍的維吉尼亞級潛艇也是採用光纖式水聽器陣列作為側視艦體聲納，名為「輕重量廣孔徑陣列」(Lightweight Wide Aperture Array, LWAA)，其在潛艇的兩側各安裝 3 個平面陣列，每個陣列約有 450 個光纖式水聽器，以實現高性能的被動聲音探測。



圖一、維吉尼亞級潛艇的側視艦體輕重量廣孔徑陣列

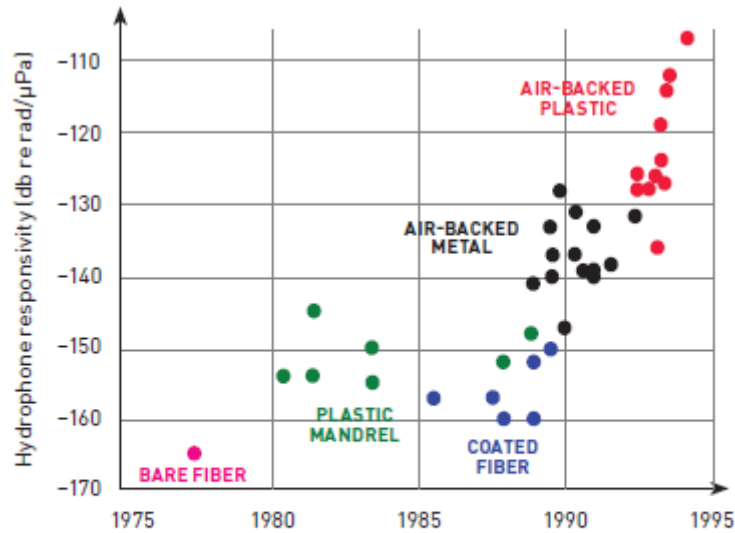
中國在光纖式水聽器技術上也是積極發展，2018 年中國電科第 23 所，於中國國際國防電子展展出光纖式水聽器的拖曳式聽音陣列，利用遠洋拖船拖曳 800 m 長的陣列聲納，將原始數據即時透過衛星資料鍵傳回本土進行分析。

國外光纖式水聽器感測技術研究，其訊號擷取方法發展先後為光纖光柵 (Fiber Bragg grating, FBG)，馬赫詹德 (Mach-Zehnder) 光纖干涉儀，桑亞克 (Sagnac) 光纖干涉儀，光纖雷射，雷利 (Rayleigh) 後向散射光纖感測儀等感測技術，相關已發表的靈敏度、驗證頻率範圍、量測動態範圍，與雜訊等參數如表二所示，以小型化、輕量化、高靈敏度，與高可靠性為發展趨勢：

表二光纖式水聽器技術比較表

訊號擷取方法	Fiber Bragg grating	Mach-Zehnder	Sagnac	Fiber Laser	Rayleigh Backscatter
Sensitivity (dB re 1V/uPa)	-160 [6]	-143 [8]	-159.86 [2]	-140 [4]	-131 [11]
Frequency response (Hz)	80 Hz-1.25 kHz [6]	20 Hz~1.6 kHz [8]	10 Hz~10 kHz [2]	20 Hz~20 kHz [5]	1 Hz~1 kHz [11]
dynamic range (dB)		116 dB [8]	173 dB [2]		
Noise (dB re V / \sqrt{Hz})		-90 [10]	-100 [7]	-55dB(ref : 1uPa/rt-Hz @ 1 kHz) [3]	

根據 2019 年諾格公司的公開產品資料[9]，光纖式水聽器的封裝技術是提升靈敏度的重要研究項目之一，如圖二所示，隨著封裝材料的改進，靈敏度由 1977 年至 1994 年進步了約 50 dB。



Evolving response. Evolution of fiber hydrophone responsivity from the bare fiber coil, to coated fiber, to various mandrel designs, to the air-backed plastic mandrel. A. Dandridge

圖二 光纖式水聽器感測頭封裝技術與靈敏度的演進圖

三、參考文獻

- [1] Compatible hydrophones with underwater listening systems
- [2] (2007) Study on Sagnac fiber-optic hydrophone
- [3] (1988) Specification for fiber optic hydrophone system
- [4] (2015) Recent progresses in fiber laser hydrophone
- [5] (2012) High performance four-element DFB fiber laser hydrophone array system
- [6] (2004) Principle and applications of the fiber optic hydrophone
- [7] (2013) Study on several key technologies of interferometric fiber optic hydrophone array system based on heterodyne detection scheme
- [8] (2007) Research on fiber optic hydrophone used for towed line array
- [9] (2019) Fiber optic interferometric sensors at sea
- [10] Research on noise character based on matched interferometric fiber optic hydrophone array
- [11] (2020) High performance das-based optical fiber hydrophone

二

計畫目的

國內的高靈敏度的光纖式水聽器陣列技術相關研究較少，雖有部分在實驗室空氣中有間接研究成果，但多為無封裝的散裝架構，故不具備水中高靈敏度與串接陣列技術的條件，經評估技術備便水準，應處於TRL2技術概念階段。

本計畫目的是規劃在二年期間，建立高靈敏度的光纖式水聽器陣列的主

要技術，包含：光纖式水聽器感測頭設計，光纖式水聽器感測頭訊號調變方法。

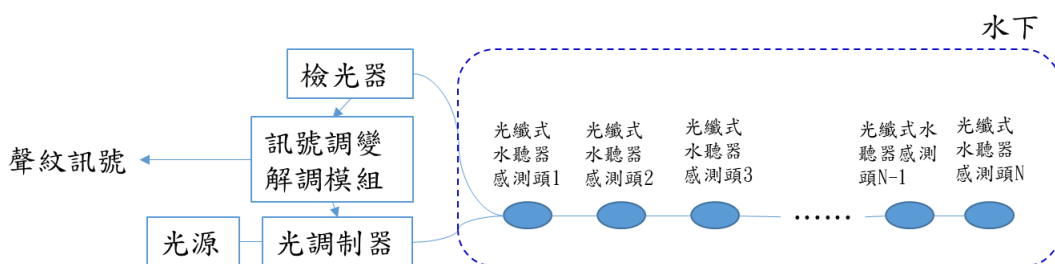
全案分年目標如下：

第一年：完成光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立

第二年：完成陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證

一、計畫架構

研發項目分為議題一光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立、議題二陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證等，各議題間之關係如計畫架構圖(圖三)所示。



圖三 光纖式水聽器陣列架構圖

本計畫目的是規劃在二年時間內，完成光纖式水聽器的訊號調變方法研究、模擬程式建立、與實驗室環境下的訊號調變方法之驗證。

研究議題

三

1. 第一年研究內容如下：

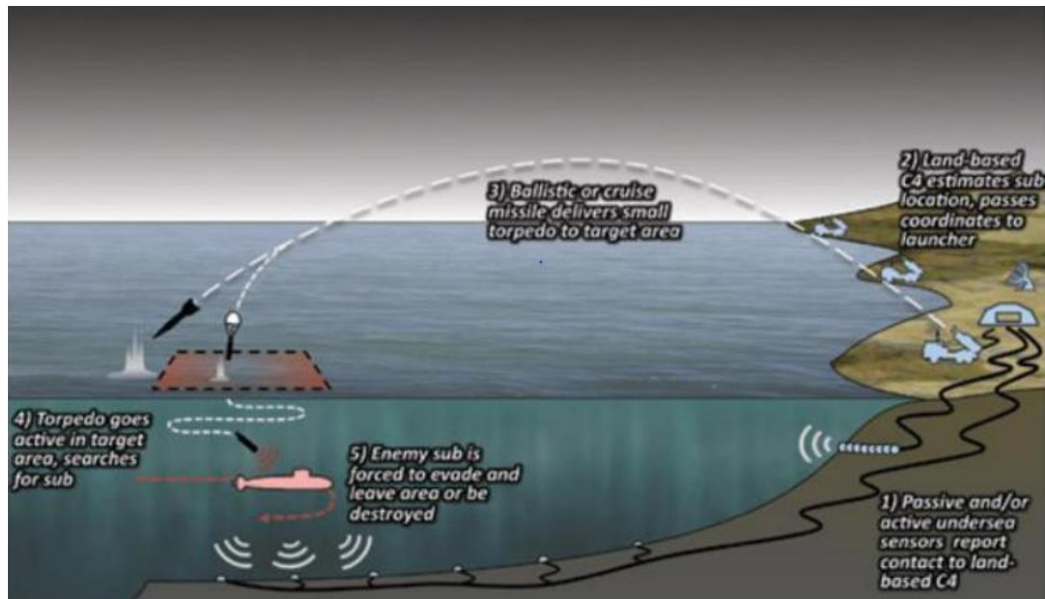
- (1) 光纖式水聽器的訊號調變方法研究與模擬程式建立，在感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz，系統相位噪聲 $<1 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，當感測頭串接數量 >100 個時，探討光路拾音(pick-up)抑制方法研究，與寄生光路雜訊抑制方法。
- (2) 光纖式水聽器之感測頭模擬分析，研討光路架構與包覆材質的選項，滿足感測壓力響應 $>-150 \text{ dB} (\text{rad}/\mu\text{Pa})$ ，與加速度靈敏度 $<-30 \text{ dB}$ 。
- (3) 遞交「光纖式水聽器訊號調變研究與感測頭模擬分析報告」與「光纖式水聽器訊號模擬程式(第一版)」

2. 第二年研究內容如下：

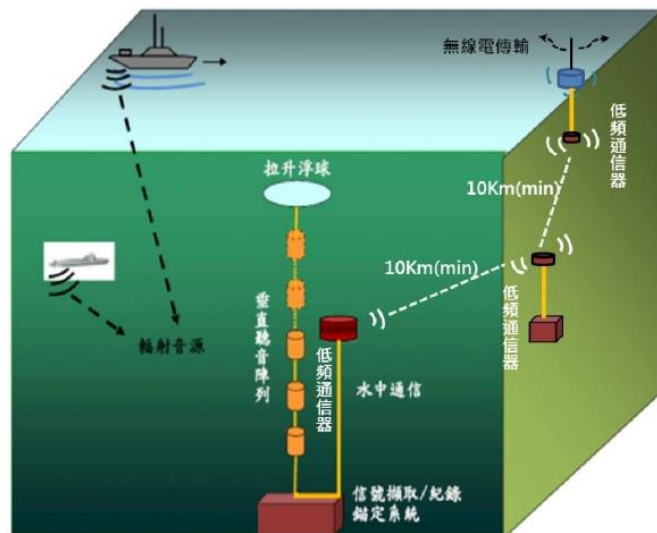
- (1) 小型陣列光纖式水聽器之實驗室水槽(低逼真度)驗證，實作感測頭串接數量 >10 個時，驗證訊號調變方法，滿足系統相位噪聲 $<1 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$
- (2) 遞交「光纖式水聽器訊號調變方法驗證報告」與「光纖式水聽器訊號模擬程式(第二版)」

運用構想

本案研製的光纖式水聽器未來可應用於國防領域，參考國外國防應用，例如：艦用拖式聽音陣列、岸基聽音陣列(如圖四)、垂直聽音陣列(如圖五)或潛艦用側視艦體聲納(如圖一)等系統，並有學術研究與防災應用，例如：海洋地震偵測與分析等。



圖四、岸基聽音陣列與水下網路體系作戰示意圖



圖五、垂直聽音陣列與遠距水下陣列偵知系統運用概念架構

五	技術備便水準評估	<p>第一年完成光纖式水聽器的模型建立與分析工作後，技術概念即能被明確闡述，評估達到TRL2</p> <p>第二年完成陣列光纖式水聽器之實驗室水槽(低逼真度)驗證後，對關鍵功能即能進行分析與實驗，評估達到TRL4</p>																											
六	期程工項	<p>一、議題分工及期程規劃</p> <p>本案議題分工及期程規劃為 112 年研究光纖式水聽器的光學架構，建立光學干涉模型，與對應的訊號調變模型，並藉由模擬分析評估光纖式水聽器的雜訊，以上確認光學架構後，並模擬分析感測頭的封裝設計，評估水聲感測的靈敏度；待 112 年確認光纖式水聽器的感測頭架構後，113 年將光纖式水聽器串聯在一起，形成光纖式水聽器陣列，並架構實驗室水槽(低逼真度)驗證的測試平台，驗證小型陣列光纖式水聽器的初步性能。</p> <table border="1" data-bbox="344 1012 1362 1912"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 1012 523 1093">議題</th> <th data-bbox="523 1012 836 1093">工項</th> <th data-bbox="836 1012 983 1093">執行期程</th> <th data-bbox="983 1012 1362 1093">工項說明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="344 1093 523 1527" rowspan="4">光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立</td> <td data-bbox="523 1093 836 1191">光纖式水聽器的訊號調變模型建立</td> <td data-bbox="836 1093 983 1191">112</td> <td data-bbox="983 1093 1362 1191">建立光纖式水聽器的訊號調變模型與模擬程式</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1191 836 1290">光纖式水聽器的光學干涉模型建立</td> <td data-bbox="836 1191 983 1290">112</td> <td data-bbox="983 1191 1362 1290">建立光纖式水聽器的光學干涉數學模型與模擬程式</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1290 836 1388">光纖式水聽器的雜訊分析</td> <td data-bbox="836 1290 983 1388">112</td> <td data-bbox="983 1290 1362 1388">評估光纖式水聽器的系統雜訊</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1388 836 1527">光纖式水聽器之感測頭模擬分析</td> <td data-bbox="836 1388 983 1527">112</td> <td data-bbox="983 1388 1362 1527">設計與模擬光纖式水聽器的封裝方式或機構，並評估水聲壓力的感測靈敏度</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 1527 523 1912" rowspan="3">陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證</td> <td data-bbox="523 1527 836 1675">陣列光纖式水聽器之訊號調變實作</td> <td data-bbox="836 1527 983 1675">113</td> <td data-bbox="983 1527 1362 1675">在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之訊號調變</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1675 836 1774">陣列光纖式水聽器之光路製作</td> <td data-bbox="836 1675 983 1774">113</td> <td data-bbox="983 1675 1362 1774">在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之光路</td> </tr> <tr> <td data-bbox="523 1774 836 1912">小型陣列光纖式水聽器之實驗室驗證</td> <td data-bbox="836 1774 983 1912">113</td> <td data-bbox="983 1774 1362 1912">在實驗室水槽(低逼真度)環境下，驗證小型陣列光纖式水聽器之性能</td> </tr> </tbody> </table>	議題	工項	執行期程	工項說明	光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立	光纖式水聽器的訊號調變模型建立	112	建立光纖式水聽器的訊號調變模型與模擬程式	光纖式水聽器的光學干涉模型建立	112	建立光纖式水聽器的光學干涉數學模型與模擬程式	光纖式水聽器的雜訊分析	112	評估光纖式水聽器的系統雜訊	光纖式水聽器之感測頭模擬分析	112	設計與模擬光纖式水聽器的封裝方式或機構，並評估水聲壓力的感測靈敏度	陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證	陣列光纖式水聽器之訊號調變實作	113	在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之訊號調變	陣列光纖式水聽器之光路製作	113	在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之光路	小型陣列光纖式水聽器之實驗室驗證	113	在實驗室水槽(低逼真度)環境下，驗證小型陣列光纖式水聽器之性能
議題	工項	執行期程	工項說明																										
光纖式水聽器的訊號調變方法與模擬建立	光纖式水聽器的訊號調變模型建立	112	建立光纖式水聽器的訊號調變模型與模擬程式																										
	光纖式水聽器的光學干涉模型建立	112	建立光纖式水聽器的光學干涉數學模型與模擬程式																										
	光纖式水聽器的雜訊分析	112	評估光纖式水聽器的系統雜訊																										
	光纖式水聽器之感測頭模擬分析	112	設計與模擬光纖式水聽器的封裝方式或機構，並評估水聲壓力的感測靈敏度																										
陣列光纖式水聽器的訊號調變方法驗證	陣列光纖式水聽器之訊號調變實作	113	在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之訊號調變																										
	陣列光纖式水聽器之光路製作	113	在實驗室環境下，實作陣列光纖式水聽器之光路																										
	小型陣列光纖式水聽器之實驗室驗證	113	在實驗室水槽(低逼真度)環境下，驗證小型陣列光纖式水聽器之性能																										

二、成果產出及需求規格

項次	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟 體)	數量	需求規格
1	光纖式水聽器訊號模擬程式(第一版)	軟體	1 套	<p>模擬程式需能評估以下性能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為$<1 \mu \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 3. 感測壓力響應設計$>-150 \text{ dB}$ ($\text{rad}/\mu \text{ Pa}$) 4. 加速度靈敏度$<-30 \text{ dB}$
2	光纖式水聽器訊號模擬程式(第二版)	軟體	1 套	<p>模擬程式需能評估當感測頭串接數量>10 個與>100 個時，以下系統性能：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為$<1 \mu \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 3. 感測壓力響應設計$>-150 \text{ dB}$ ($\text{rad}/\mu \text{ Pa}$) 4. 加速度靈敏度$<-30 \text{ dB}$
3	光纖式水聽器初步設計報告	報告	1 份	<p>報告應包含以下研究內容與評估方式說明：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感測頻率範圍 1 Hz~1000 Hz 2. 系統相位噪聲設計為$<1 \mu \text{ rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ 3. 感測壓力響應設計$>-150 \text{ dB}$ ($\text{rad}/\mu \text{ Pa}$) 4. 加速度靈敏度$<-30 \text{ dB}$ 5. 當感測頭串接數量>10 個與>100 個時，光路拾音 (pick-up)抑制方法研究，寄生光路雜訊抑制方法研究。
4	光纖式水聽器訊號調變方法驗證報告	報告	1 份	<p>報告應包含以下驗證內容與評估方式說明：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感測頭串接數量>10 個 2. 實驗室水槽(低逼真度)環境測試驗證

					3. 系統相位噪聲 $<1 \mu \text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$						
		<p>三、驗測方式規劃</p> <p>本案共計有 2 項軟體與 1 項實驗室驗證，對應成果產出之項次 1、項次 2，與項次 4，其驗測方式規劃如下：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項次</th> <th>驗證方式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1、2</td> <td>需和相關文獻之圖表比對，以驗證模擬程式的正確性</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>在實驗室水槽(低逼真度)環境下，以振動源進行實驗，可先在空氣中模擬實驗後，在水中進行驗證，比對振動源和水聽器的時域訊號與頻域分析，須滿足所有串接感測頭(>10 個)皆能擷取振動訊號，以及系統相位噪聲$<1 \mu \text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$</td> </tr> </tbody> </table>				項次	驗證方式	1、2	需和相關文獻之圖表比對，以驗證模擬程式的正確性	4	在實驗室水槽(低逼真度)環境下，以振動源進行實驗，可先在空氣中模擬實驗後，在水中進行驗證，比對振動源和水聽器的時域訊號與頻域分析，須滿足所有串接感測頭(>10 個)皆能擷取振動訊號，以及系統相位噪聲 $<1 \mu \text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$
項次	驗證方式										
1、2	需和相關文獻之圖表比對，以驗證模擬程式的正確性										
4	在實驗室水槽(低逼真度)環境下，以振動源進行實驗，可先在空氣中模擬實驗後，在水中進行驗證，比對振動源和水聽器的時域訊號與頻域分析，須滿足所有串接感測頭(>10 個)皆能擷取振動訊號，以及系統相位噪聲 $<1 \mu \text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$										
八	預期成果	<p>本案完成後將建立國內光纖式水聽器的光學與訊號調變的研究能量，並配合光纖式水聽器的光路製作，完成小型陣列光纖式水聽器的實驗室水槽(低逼真度)驗證。未來配合中科院製造技術與驗證能量，將光纖式水聽器陣列之 TRL 逐步增進，以期建立國內水下偵知系統之光纖式水聽器關鍵技術。</p>									
九	研發成果歸屬	<p>本計畫研發成果歸屬：<input type="checkbox"/>國防部<input type="checkbox"/>中科院<input checked="" type="checkbox"/>學研機構。</p>									

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：太赫茲多頻段感測器分析與設計 (1/3)		計畫期程：112-114 年
提案單位：電子所尋標組 聯絡人：徐新峯		電話：03-4712201#355390
項次	項目	研究內容
一	計畫背景	現今飛行武器、航空載具發展迅速，在躲避搜索、追蹤、鎖定等技術，也有被動的低反射截面積匿蹤、主動的電磁波干擾等方式。為能應對未來可能目標，增加並提高探索檢測頻率是必須的。院內在微波頻段探測技術頗有發展，若在此基礎上續往更高頻段延伸，必能收獲豐碩的果實。然高頻多頻段感測器技術尚有段基礎科學研究的必經之路，為了加速研發，縮短研究時程，本申請案擬與學術界共同研究，期透過與專家的合作研究，獲得寶貴的經驗，盡速完成高頻多頻段感測器之設計，並滿足本院各武器系統的客製化需求，擺脫國際鉗制與廠商哄抬價格的手段，迎頭追上現代的軍武研發進度。
二	計畫目的	全期目標為取得晶片化且整合高頻、多頻段感測器之設計與分析技術。目前先進製程多為各國管制項目，在實際應用上仍受限，以國內可取得之製程為優先考量。
三	研究議題	子題：30T~100T 之間，單一材料系統可整合之頻率為三倍的兩個頻段之感測器 子題：單一材料系統可整合之頻率為三倍的兩個頻段之晶片化 THz 感測器 子題：單一材料系統整合高頻多頻段多像素(>2x2)感測器
四	運用構想	1.本案擬取得高頻多頻段感測器之分析、設計與研製技術。高頻多頻段感測器執行時程預計為三年，以分批驗收方式，完成各項預期成果。 2.汲取國內學研界團隊在高頻感測器的經驗，透過執行期間密集的討論，從學研團隊獲取晶片化之高頻感測器設計的關鍵技術，包括最新的設計概念和方法，使本院積體光子晶片設計水準得以跟隨得上世界的腳步。
五	技術備便	1.本案包含高頻多頻段感測器分析與設計，證明技術概念，可提升 TRL 至 3。 2.將依據第六點之期程工項作為本案之里程碑。 3.預計每年執行 1 次期中查核及 1 次期末查核作為查核點。

水 準 評 估	4.各工項之評量指標，為依據校方提供之分析設計資料，是否符合計畫需求。									
六 期 程 工 項	<p>填寫說明：請分年列述預劃工項，若涉及實體產出，應律定測試驗證方式。</p> <p>112 年工項</p> <table border="1" data-bbox="276 533 1075 698"> <tr> <td data-bbox="276 533 1075 591">研究議題</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 591 1075 645">30T~100T 感測器材料分析</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 645 1075 698">高頻多頻段感測器設計</td> </tr> </table> <p>113 年工項</p> <table border="1" data-bbox="276 788 1075 954"> <tr> <td data-bbox="276 788 1075 846">研究議題</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 846 1075 900">THz 感測器材料分析</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 900 1075 954">晶片化 THz 感測器設計</td> </tr> </table> <p>114 年工項</p> <table border="1" data-bbox="276 1043 1075 1209"> <tr> <td data-bbox="276 1043 1075 1102">研究議題</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 1102 1075 1155">高頻多頻段多像素感測器材料分析</td> </tr> <tr> <td data-bbox="276 1155 1075 1209">整合高頻多頻段多像素感測器設計</td> </tr> </table>	研究議題	30T~100T 感測器材料分析	高頻多頻段感測器設計	研究議題	THz 感測器材料分析	晶片化 THz 感測器設計	研究議題	高頻多頻段多像素感測器材料分析	整合高頻多頻段多像素感測器設計
研究議題										
30T~100T 感測器材料分析										
高頻多頻段感測器設計										
研究議題										
THz 感測器材料分析										
晶片化 THz 感測器設計										
研究議題										
高頻多頻段多像素感測器材料分析										
整合高頻多頻段多像素感測器設計										
八 預 期 成 果	<p>績效指標(KPI)：</p> <p>晶片化整合高頻、多頻段感測器之設計及特性分析，包含國內製程可取得及材料特性。</p> <p>預期成果(後續運用武器系統說明)：</p> <p>本計畫成果所開發之高頻多頻段感測器，可應用於空間與功耗有限之國防裝備，例如機載或彈載之雷達。</p>									
九 研 發 成 果 歸 屬	本計畫研發成果歸屬： <input type="checkbox"/> 國防部 <input type="checkbox"/> 中科院 <input checked="" type="checkbox"/> 學研機構。									

國家中山科學研究院 112 年「國防先進科技研究計畫」

構想書

計畫名稱：航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術		計畫期程：112-114 年
全期經費額度： 仟元		研究領域：控制技術(含自動化、智慧化等)
提案單位：飛彈火箭研究所前瞻研發組 聯絡人：吳尚儒 電話：352483		
項次	項目	研究內容
二	計畫目的	<p>本計畫目的：針對航訓模擬場域環境下，</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 開發可於高G環境，評估飛行員G耐力與警示機制演算法。 2. 開發可於低壓低氧環境，評估飛行員低壓缺氧耐受性與警示機制演算法。 3. 開發可於模擬飛行訓練之飛行員腦波意識清醒程度評估與警示演算法 4. 開發可於模擬飛行訓練之飛行員之壓力/自主神經活性評估與警示演算法 5. 開發可維護飛行員訓練與飛航安全之飛行適能快速評估技術。 6. 開發針對特殊飛行模擬訓練裝備(低壓艙、離心機)之先進資料擷取與傳輸技術。 7. 開發耐受低壓高G環境之航空生理感測、腦波信號偵測離型裝置，以及生理監測評估系統。 8. 完成低壓艙、離心機等之模擬飛行訓練科目規劃與場域驗證。 9. 開發大腦認知功能行為之判讀系統技術。 10. 開發動暈反應眼動指標運算模式探討。 11. 開發虛擬實境高壓力認知多工處理系統。 12. 發展強化開發大腦認知功能系統
三	研究議題	<p>一、計畫架構</p> <p>本計畫「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」可分為三個子計畫(圖 12)：(A)子計畫一，飛行適能狀態評估與示警。由研發單位負責航空高G低壓低氧環境之生理指標與安全模式演算法開發；(B)子計畫二，認知大腦功能與虛擬實境認知多工處理衡鑑技術。由學研單位負責航空認知大腦功能監控與虛擬實境多工處理演算法、大腦認知健康之診療與影響追蹤等技術開發；(C)子計畫三，特殊裝備場域多面向飛行適能評估系統整合與驗證。由研發單位負責航空生理感測離型裝置與傳輸技術、航空生心理與腦波量化指標與預警演算法，以及多面向飛行適能評估警示平台之系統整合，並進行特殊設備模擬飛行的科目規劃與場域驗證。據此，規劃十項研究議題與計畫架構(圖 13)：</p>

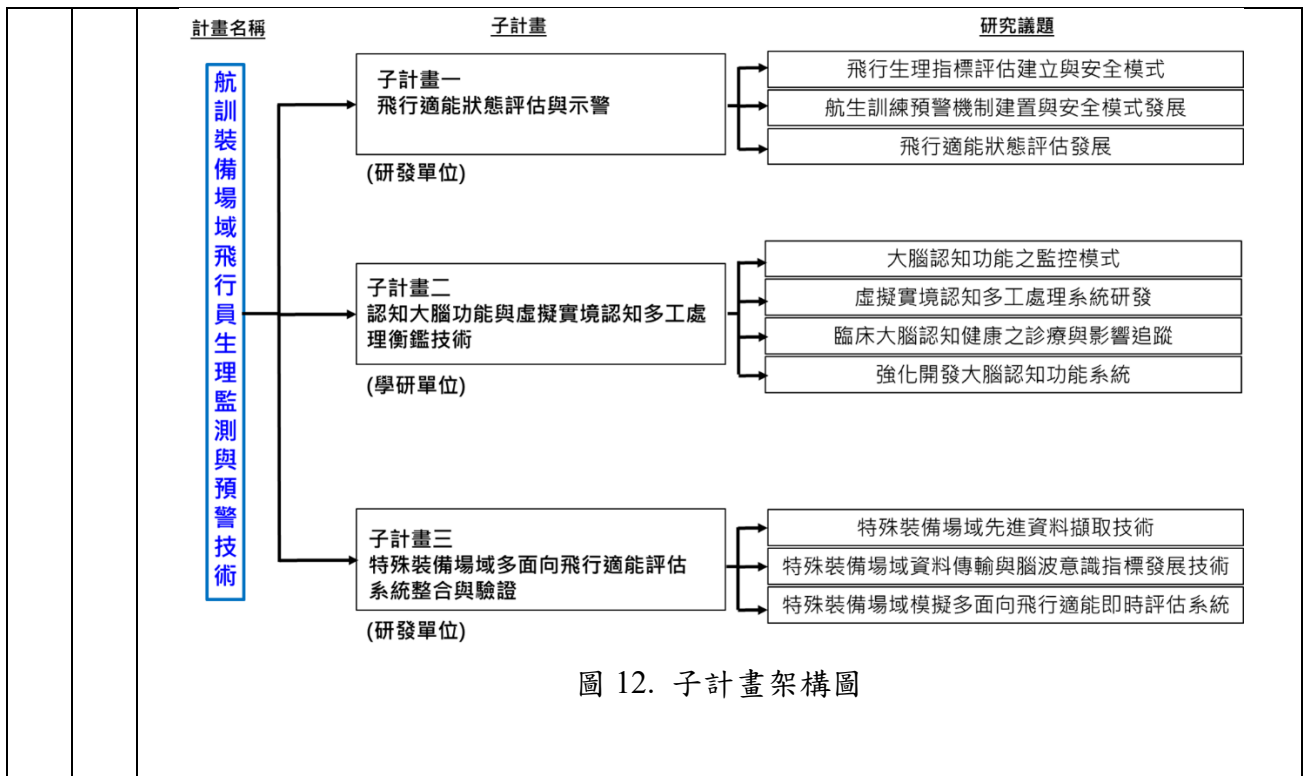


圖 12. 子計畫架構圖

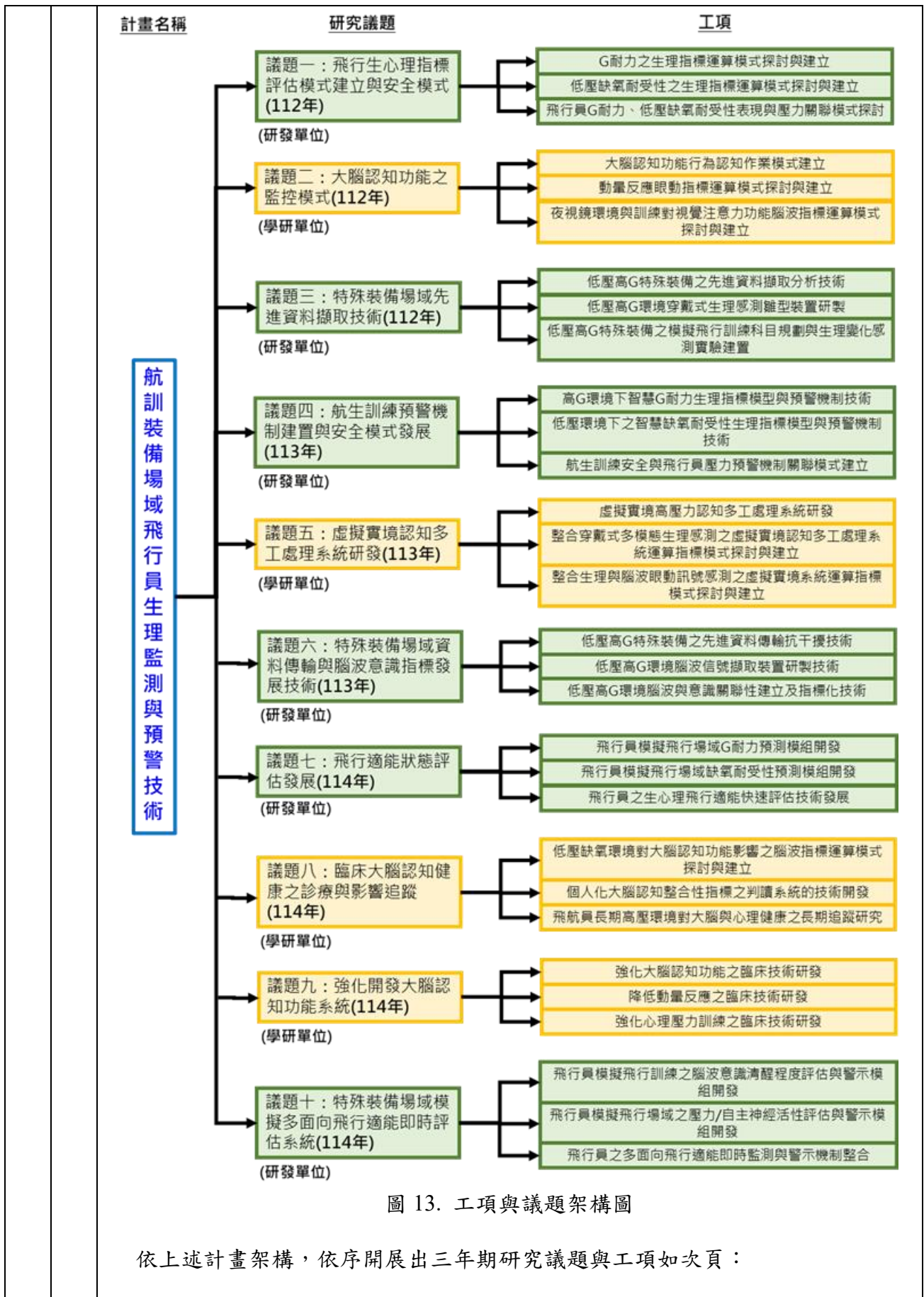


圖 13. 工項與議題架構圖

依上述計畫架構，依序開展出三年期研究議題與工項如次頁：

第一年 (112年)

議題一、飛行生心理指標評估模式建立與安全模式 執行：研發單位

- (1) G耐力之生理指標運算模式探討與建立。
- (2) 低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式探討與建立。
- (3) 飛行員G耐力、低壓缺氧耐受性表現與壓力關聯模式探討。

議題二、大腦認知功能之監控模式 執行：學研單位

- (1) 大腦認知功能行為認知作業模式建立。
- (2) 動暈反應眼動指標運算模式探討與建立。
- (3) 夜視鏡環境與訓練對視覺注意力功能腦波指標運算模式探討與建立。

議題三、特殊裝備場域先進資料擷取技術 執行：研發單位

- (1) 低壓高G特殊裝備之先進資料擷取分析技術。
- (2) 低壓高G環境穿戴式生理感測雛型裝置研製。
- (3) 低壓高G特殊裝備之模擬飛行訓練科目規劃與生理變化感測實驗建置。

第二年 (113年)

議題四、航生訓練預警機制建置與安全模式發展 執行：研發單位

- (1) 高G環境下智慧G耐力生理指標模型與預警機制技術。
- (2) 低壓環境下之智慧缺氧耐受性生理指標模型與預警機制技術。
- (3) 航生訓練安全與飛行員壓力預警機制關聯模式建立。

議題五、虛擬實境認知多工處理系統研發 執行：學研單位

- (1) 虛擬實境高壓力認知多工處理系統研發。
- (2) 整合穿戴式多模態生理感測之虛擬實境認知多工處理系統運算指標模式探討與建立。
- (3) 整合生理與腦波眼動訊號感測之虛擬實境系統運算指標模式探討與建立。

議題六、特殊裝備場域資料傳輸與腦波意識指標發展技術 執行：研發單位

- (1) 低壓高G特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術。
- (2) 低壓高G環境腦波信號擷取雛型裝置研製技術。
- (3) 低壓高G環境腦波與意識關聯性建立及指標化技術。

第三年 (114年)

議題七、飛行適能狀態評估發展 執行：研發單位

- (1) 飛行員模擬飛行場域G耐力預測模組開發。
- (2) 飛行員模擬飛行場域缺氧耐受性預測模組開發。
- (3) 飛行員之生心理飛行適能快速評估技術發展。

議題八、臨床大腦認知健康之診療與影響追蹤 執行：學研單位

- (1) 低壓缺氧環境對大腦認知功能影響之腦波指標運算模式探討與建立。
- (2) 個人化大腦認知整合性指標之判讀系統的技術開發。
- (3) 飛航員長期高壓環境對大腦與心理健康之長期追蹤研究。

議題九、強化開發大腦認知功能系統 執行：學研單位

- (1) 強化大腦認知功能之臨床技術研發。
- (2) 降低動暈反應之臨床技術研發。
- (3) 強化心理壓力訓練之臨床技術研發。

議題十、特殊裝備場域模擬多面向飛行適能即時評估系統 執行：研發單位

- (1) 飛行員模擬飛行訓練之腦波意識清醒程度評估與警示模組開發。
- (2) 飛行員模擬飛行場域之壓力/自主神經活性評估與警示模組開發。
- (3) 飛行員之多面向飛行適能即時監測與警示機制整合。

二、成果產出及需求規格

本計畫「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」，係配合國軍高雄醫院岡山分院航空生理訓練中心現有之訓練模式規範與設備現況，進行產出品項及規格之制定依據。依照現有航訓中心低壓艙訓練環境模式，一般而言，需模擬超過約12,500英尺的高空條件(約海拔3,810公尺)下，受訓學員較有可能發生生理狀況變化，且該低壓艙最大模擬高度為35,000英尺，故本計畫將大氣壓力之需求範圍制訂為海拔12,500-35,000英尺(約270mmHg-750mmHg)；同時離心機之G力可模擬範圍為1G-9G。

112 年度(計畫第一年)

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	數量	需求規格
1	研發單位	G 耐力之生理 指標運算模 式	軟體	1 套	具備 G 耐力(離心機可 模擬範圍 1G-9G 中，至 少包含 1G~7G 間，增 G 率：約 0.1G/秒)之生理 指標偵測，收集、測試 至少 40 人次並繳交技 術成果報告。
2	研發單位	低壓缺氧耐 受性之生理 指標運算模 式	軟體	1 套	具備低壓(低壓艙環境 配置至少包含 270mmHg - 750mmHg，約一般地表 至 12,500 - 35,000 英 呎高空，以下同)缺氧耐 受性之生理指標偵測， 收集、測試至少 40 人 次，並繳交技術成果報 告。
3	研發單位	飛行員 G 耐 力、缺氧耐 受性表現與壓 力關聯模式	報告	1 份	評估低壓高 G 環境(可 模擬範圍 1G-9G 中，至 少包含 1G~7G 間，低壓 艙環境配置至少包含

			探討			270mmHg - 750mmHg，約一般地表至 12,500 - 35,000 英尺高空，以下同)下對飛行員 G 耐力、缺氧耐受性表現之壓力影響，並從表 2 適用之生理信號種類中，選取至少 2 種信號，進行至少 2 種生理狀態之關聯性研究，至少 40 人次。	
		4	學研單位	飛行員認知功能研究總評估	軟體	1 套	使用不同認知行為作業實驗總體研究飛行員不同認知功能，包括執行功能，注意力，記憶，語言等方面，建立常模資料，測試評估至少 40 人次並開發軟體測量這些認知功能與繳交研究成果報告。
		5	學研單位	一般人動暈反應之眼動指標	報告	1 份	分析具備眼動反應與動暈症狀的相關性研究，包括眼動指標偵測和分析，完整動暈症狀評量，測試評估至少 20 人次。
		6	學研單位	夜視環境與訓練對認知與視覺注意力之探討模組	報告	1 份	評估夜視環境對視覺功能與注意力影響之研究，收集視覺功能與注意力行為反應作業資料，建立客觀使用的關連性指標，測試評估至少 20 人次並產出技術模組。
		7	研發單位	低壓高 G 特殊裝備之先進資料擷取分析技術報告	報告	1 份	可在低壓高 G 環境(同上)下，封閉式環境中進行資料擷取。傳輸驗證至少累積 40 人次資料。
		8	研發單位	航空穿戴式生理感測離型裝置	測試裝備	1 套	可在低壓高 G 環境下(同上)操作，並從表 2 適用之生理信號種類中，選取可具備 2 種異質生理信號之感測模

					組。
9	研發單位	低壓高 G 特殊裝備之模擬飛行訓練科目規畫研究報告	報告	1 份	以本計畫開發之技術進行規畫至少 2 種航訓中心之模擬飛行訓練科目。

113 年度(計畫第二年)

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	數量	需求規格
1	研發單位	智慧化 G 耐力指標模型	軟體	1 套	具備 G 耐力(離心機可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間，增 G 率：約 0.1G/秒)之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次，並繳交技術成果報告。
2	研發單位	智慧化低壓缺氧耐受性指標模型	軟體	1 套	具備低壓(低壓艙環境配置至少包含 270mmHg - 750mmHg，約一般地表至 12,500 - 35,000 英尺高空)缺氧耐受性之生理指標偵測，收集、測試至少 40 人次，並繳交技術成果報告。
3	研發單位	航訓安全與飛行員生理、壓力關聯模式探討研究	軟體	1 套	藉由智慧化 G 耐力與缺氧耐受性等指標模型之判讀結果，進行航訓安全與飛行員生理、壓力間之影響分析，並從表 2 適用之生理信號種類中，選取至少 2 種信號，進行至少 2 種生理狀態之關聯性研究，至少 40 人次，並繳交技術成果報告。
4	學研單位	虛擬實境高壓力認知多工處理系統	軟體	1 套	以虛擬實境建立認知多工處理與生心理抗壓能力評估系統，以建置高壓力戰場環境的多工處理互動情境。測試評估至少 20 人次。

		5	學研單位	穿戴式多模態生理感測設備	硬體	1 套	結合虛擬實境高壓力認知多工處理系統之整合穿戴式多模態生理行為感測裝置，包括面部表情、心率變異、皮膚電位及呼吸等收集生理數據技術客製化硬體模組。測試評估至少 20 人次。
		6	學研單位	穿戴式多模態腦波與眼動感測設備	硬體	1 套	結合虛擬實境認知多工處理系統之多模態腦波與眼動感測裝置，收集數據技術客製化硬體模組。測試評估至少 20 人次。
		7	研發單位	低壓高 G 特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術報告	報告	1 份	可在低壓高 G 環境下(可模擬範圍 1G-9G 中，低壓艙環境配置至少包含 270mmHg - 750mmHg，約一般地表至 12,500 - 35,000 英尺高空，以下同)，封閉式環境中進行資料擷取。傳輸驗證累積至少 10 人次。
		8	研發單位	低壓高 G 環境腦波信號擷取離型裝置	硬體	1 套	在低壓高 G 環境下(同上)，建立可於封閉式環境中進行腦波信號擷取之裝置，傳輸驗證累積至少 10 人次。
		9	研發單位	低壓高 G 環境腦波與意識關聯性建立及指標化技術	軟體	1 套	在低壓高 G 環境下(同上)，建立腦波與意識之關聯性及意識指標演算法，至少 10 人次，並繳交相關技術成果報告。
		10	研發單位	低壓高 G 環境之穿戴式生理監測評估系統離型	硬體	1 套	可在低壓高 G 環境下(同上)，系統整合功能測試，驗證累積至少 10 人次，並繳交技術成果報告及軟體。
114 年度(計畫第三年)							

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	數量	需求規格
1	研發單位	飛行員模擬飛行場域 G 耐力預測模組	軟體	1 套	可於模擬飛行場域環境中，進行飛行員 G 耐力指標之判讀預測，測試至少 10 人次，並繳交技術成果報告。
2	研發單位	飛行員模擬飛行場域缺氧耐受性預測模組	軟體	1 套	可於模擬飛行場域環境中，進行飛行員缺氧耐受性指標之判讀預測，測試至少 10 人次，並繳交技術成果報告。
3	研發單位	飛行員生心理飛行適能快速評估平台	硬體	1 套	可於 5 分鐘內評估一次，包含：智慧化 G 耐力指標、低壓缺氧耐受性指標，測試至少 10 人次，並繳交技術成果報告及軟體。
4	學研單位	低壓缺氧環境與訓練對大腦認知功能之腦波分析訊號探討模組	報告	1 份	評估夜視低壓缺氧環境對大腦認知功能影響之腦波運算開發研究，收集認知行為腦波反應作業資料，建立客觀使用的關連性指標，測試評估至少 20 人次並產出技術模組。
5	學研單位	個人化大腦認知整合性指標之判讀系統的技術	軟體模組	1 套	使用非線性動態數據分析技術 (Holo-Hilbert Spectral Analysis, HOSA) 結合行為眼動腦波認知功能反應，來開發個人化指標，來預測國軍個人適合的崗位。測試評估至少 20 人次並繳交軟體模組。
6	學研單位	飛行員長期高壓環境對大腦與心理健康之長期追蹤評估報告	報告、模組	1 份	長期追蹤測量飛行員認知功能，並與一般軍人做系統性比較。測試評估至少 20 人次並繳交研究成果報告或模組。
7	學研單位	認知功能訓練之技術開	軟體	1 套	認知訓練技術 App 開發。建立不同認知訓練

		發 App			作業對飛行員認知功能的影響評估與對實際飛行操作的表現。測試評估至少 20 人次並繳交研究成果報告與軟體。
8	學研單位	動暈臨床治療之技術開發與分析技術模組	技術模組	1 套	探討不同介入方法對降低動暈症的效果評估，收集行為資料建立介入方法與動暈關係的因果評估技術模族，測試評估至少 20 人次。
9	學研單位	心理抗壓性臨床治療之技術開發與分析技術模組	技術模組	1 套	探討不同介入方法對增加心理抗壓力做系統性的效果評估，收集行為資料建立介入方法與心理抗壓力關係的因果評估技術模族，測試評估至少 20 人次。
10	研發單位	飛行員模擬飛行場域之腦波意識清醒程度/壓力/自主神經活性評估與警示模組	軟體	1 套	可於模擬飛行訓練環境中，進行飛行員腦波信號完整擷取與意識清醒程度/壓力/自主神經活性評估及警示，測試至少 10 人次，並繳交相關技術成果報告。
11	研發單位	飛行員模擬飛行場域之多面向飛行適能即時監測系統	軟體/硬體	1 套	可在低壓高 G 模擬飛行場域環境下，進行系統整合及各生理指標功能測試，驗證累積至少 30 人次。
12	研發單位	低壓高 G 特殊裝備模擬飛行訓練之生理監測警示機制驗證	報告	1 份	可在低壓高 G 環境下(同上)，生理監測警示機制驗證累積至少 40 人次。

三、驗測方式規劃

112 年度(計畫第一年)

項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	驗測方式規劃
----	------	------	----------------------	--------

		1	研發單位	G 耐力之生理指標運算模式	軟體	<ul style="list-style-type: none"> • G 耐力環境下(離心機可模擬範圍 1G-9G 中，至少包含 1G~7G 間，增 G 率：約 0.1G/秒)，收集完整生理數據。 • G 耐力之生理指標運算模式具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 <p>註:P 值為進行研究統計時之顯著性水準參考，用以判斷其統計上之顯著性，P 值越大，代表一致性越高。(以下所提到之 P 值亦同)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 測試至少 40 人次。
		2	研發單位	低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式	軟體	<ul style="list-style-type: none"> • 低壓環境下(低壓艙環境配置至少包含 270mmHg - 750mmHg，或一般地表至 12,500-35,000 英尺高空)，收集完整生理數據。 • 低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 <ul style="list-style-type: none"> • 測試至少 40 人次。
		3	學研單位	飛行員認知功能研究總評估	軟體	<ul style="list-style-type: none"> • 使用電腦搭配認知功能行為實驗開發軟體測量飛行員認知功能。 <ul style="list-style-type: none"> • 測試至少 40 人次。
		4	研發單位	航空穿戴式生理感測離型裝置	測試裝備	<ul style="list-style-type: none"> • 在低壓高G環境下(同上)收集完整數據。 • 至少每 5 秒一筆數據。 • 收集 2 種生理信號。(從表 2 適用之生理信號種類中選取) • 儲存數據，可提供計算 G 耐力之生理指標與低壓缺氧耐受性之生理指標。

113 年度(計畫第二年)



項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	驗測方式規劃
1	研發單位	智慧化 G 耐力指標模型	軟體	<ul style="list-style-type: none"> • G 耐力環境下(同上)，收集完整生理數據。 • 智慧化 G 耐力指標模型具備一致性(如:P 值不得小於

					0.05)。 <ul style="list-style-type: none"> • 測試累積至少 40 人次。 • 預警機制紀錄。
2	研發單位	智慧化低壓 缺氧耐受性 指標模型	軟體		<ul style="list-style-type: none"> • 低壓環境下(同上)，收集完整生理數據。 • 智慧化低壓缺氧耐受性指標模型具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 • 測試累積至少 40 人次。 • 預警機制紀錄。
3	學研單位	虛擬實境認 知多工處理 系統	軟體		<ul style="list-style-type: none"> • 以虛擬實境建立認知多工處理與生心理抗壓能力評估系統，來建置高壓力戰場環境的多工處理互動情境。 • 測試至少 20 人次。
4	學研單位	穿戴式多模 態生理感測 設備	硬體		<ul style="list-style-type: none"> • 可結合虛擬實境高壓力認知多工處理系統之整合穿戴式多模態生理行為感測裝置，包括面部表情、心率變異、皮膚電位及呼吸等收集生理數據技術客製化硬體模組。 • 測試至少 20 人次。
5	學研單位	穿戴式多模 態腦波眼動 感測設備	硬體		<ul style="list-style-type: none"> • 可結合虛擬實境高壓力認知多工處理系統之多模態腦波與眼動訊號感測裝置，收集生理數據技術客製化硬體模組。 • 測試至少 20 人次。
6	研發單位	低壓高 G 環 境腦波信號 擷取離型裝 置	硬體		<ul style="list-style-type: none"> • 於低壓高 G 環境下(同上)，於封閉式場域收集完整腦波信號數據。 • 可完整儲存數據，至少每 5 秒一筆數據。 • 測試累積至少 10 人次。
7	研發單位	低壓高 G 環 境腦波與意 識關聯性建 立及指標化 技術	軟體		<ul style="list-style-type: none"> • 於低壓高 G 環境下(同上)，利用腦波信號，建立腦波與意識關聯性，並建立意識指標，測試至少 10 人次。 • 低壓高 G 環境意識指標分析結果須具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 • 測試累積至少 30 人次。
8	研發單位	低壓高 G 特 殊裝備之先	軟體		<ul style="list-style-type: none"> • 可在低壓高 G 環境下(同上)，封閉式環境中進行資料

		進資料傳輸 抗干擾技術		擷取並傳輸完整數據。傳輸 驗證累積至少 30 人次。
114 年度(計畫第三年)				
項次	產製單位	產出品項	類別 (報告、 硬體、軟體)	驗測方式規劃
1	研發單位	飛行員模擬 飛行場域 G 耐力預測模 組	軟體	<ul style="list-style-type: none"> 於模擬飛行場域環境下，收集完整飛行員 G 耐力指標與生理數據。 G 耐力指標預測模型具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 測試累積至少 30 人次。 預警機制紀錄。
2	研發單位	飛行員模擬 飛行場域缺 氧耐受性預 測模組	軟體	<ul style="list-style-type: none"> 於模擬飛行場域環境下，收集完整飛行員缺氧耐受性指標與生理數據。 缺氧耐受性指標預測模型具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 測試累積至少 30 人次。 預警機制紀錄。
3	研發單位	飛行適能快 速評估平台	硬體	<ul style="list-style-type: none"> 在低壓高 G 環境下(同上)，於訓練科目下收集、載入完整數據。 於 5 分鐘內快速評估一次。 包含：智慧化 G 耐力指標、低壓缺氧耐受性指標， 測試累積至少 30 人次。
4	學研單位	低壓缺氧環 境對大腦認 知功能影響 之腦波探討 指標模型	軟體	<ul style="list-style-type: none"> 探討低壓缺氧環境對大腦認知功能的影響，收集腦波資料建立大腦認知功能評量。 測試至少 20 人次。
5	學研單位	個人化大腦 認知整合性 指標之判讀 系統的技術	軟體模組	<ul style="list-style-type: none"> 結合認知行為實驗作業結果整合眼動與腦波指標。評估個人認知功能判讀系統。 測試評估至少 20 人次。
6	學研單位	飛行員長期 高壓環境對	報告、模組	<ul style="list-style-type: none"> 長期追蹤測量飛行員認知功能，並與一般軍人做系統性

			大腦與心理健康之長期追蹤評估報告		比較並繳交研究成果報告或模組。 • 測試至少 20 人次。	
		7	學研單位	認知功能訓練之技術開發 App	軟體	• 認知訓練軟體 App，包含執行注意力等認知功能強化。 • 測試評估至少 20 人次。
		8	學研單位	動暈臨床治療之技術開發 App	軟體/硬體	• 降低動暈症狀之虛擬訓練軟體硬體設備模組。 • 測試評估至少 20 人次。
		9	學研單位	心理抗壓性臨床治療之技術開發	軟體模組	• 結合不同介入方式增強心理抗壓力並使用生理指標客觀評估與量化不同介入方式的抗壓性效果系統。評估個人心理抗壓性功能判讀系統。 • 測試評估至少 20 人次。
		10	研發單位	飛行員模擬飛行場域之腦波意識清醒程度/壓力/自主神經活性評估與警示模組	軟體模組	• 模擬飛行訓練環境下，建立飛行員腦波意識清醒程度/壓力/自主神經活性評估與警示模組。 • 其壓力/自主神經活性評估結果須具備一致性(如:P 值不得小於 0.05)。 • 測試至少 10 人次。
		11	研發單位	飛行員之多面向飛行適應即時監測系統	軟/硬體系統	• 模擬飛行訓練環境下，收集完整數據。 • 提供 G 耐力指標與缺氧耐受性指標、壓力指標、自主神經活性指標等。 • 評估數值顯示，至少 1 分鐘一次。 • 驗證累積至少 30 人次。

四	運用構想	<p>本計畫發展「航訓裝備場域飛行員生理監測與預警技術」平台，透過飛行員專屬穿戴式生理訊號感測技術，進行低壓高G、缺氧耐受性等演算法建立，並搭配場域無線資訊傳輸機制佈建，進行場域驗證。</p> <p>可運用於</p> <p>(A)模擬訓練場域 (空軍岡山航空生理訓練中心，圖14(A))</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 使用舒適性的穿戴感測裝置，具有偵測心跳、血氧濃度等生理參數功能，透過運算，即時顯示人員生理狀態。 ➢ 探討生理參數與G耐力、缺氧耐受性之相關性，進而建立生理指標運算模式。 ➢ 探討低壓缺氧環境對於大腦認知功能影響之相關性，進而建立腦波指
---	------	--

	<p>標運算模式，<u>評估大腦認知功能認知</u>。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 建立即時生理監控預警機制，瞭解G力昏迷或缺氧昏迷之前期變化，及建立<u>預警G力(缺氧)昏迷模式</u>，以維訓練安全。 <p>(B)高空戰訓場域 (未來，圖14(B))</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 提供飛行員每日G耐力及缺氧耐受性變化之參考。 ➢ 提供飛行員每日眼動與認知指標變化之參考。 ➢ 作為飛行前任務提示時，協助評估飛行員當下生理狀況，進而建立人員及單位警覺機制，以維飛航安全。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>(A)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>(B)</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">圖 14 未來應用場景示意圖 (A) 模擬訓練場域 (B) 高空戰訓場域</p>
<p>五</p> <p style="writing-mode: vertical-rl;">技術備便水準評估</p>	<p>現有 TRL 3 等級，結案後之 TRL 5 等級。(檢附 TRL 評估表如後說明)</p>
<p>六</p> <p style="writing-mode: vertical-rl;">期程工項</p>	<p>一、議題分工及期程規劃</p> <p>在分工方面，學研單位負責：大腦認知指標演算法、動暈反應眼動指標運算模式、夜視鏡環境與訓練對視覺注意力功能運算模式、虛擬實境高壓力認知多工處理模式等；研發單位負責：低壓高 G 環境及模擬飛行場域下，航空適能生理指標運算模式、智慧型演算法模型與安全警示機制建立、低壓高 G 穿戴式生理感測離型裝置開發、腦波擷取裝置及意識指標演算法開發、先進資料傳輸與抗干擾技術建立、系統整合與場域驗證等。</p>

議題	工項	執行單位	執行期程	工項說明
議題一 飛行生 心理指 標評估 模式建 立與安 全模式	(1) G耐力之生理指標運算模式探討與建立	研發單位	112	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在高G訓練環境中，其生理監測參數與一般訓練條件下之差異性結果比較。 2. 針對高G耐力條件下(離心機測試至少包含1G~7G間，增G率：約0.1G/秒)，其生理參數與人體生理反應之關聯性探討。 3. 建立G耐力條件與生理指標運算模式。 4. 開發G耐力之生理指標演算法。
	(2) 低壓缺氧耐受性之生理指標運算模式探討與建立	研發單位	112	<ol style="list-style-type: none"> 1. 在低壓缺氧訓練環境中，其生理監測參數與一般訓練條件下之差異性結果比較。 2. 針對低壓(低壓艙環境配置至少包含270mmHg - 750mmHg，或一般地表至12,500-35,000英尺高空)缺氧條件下，其生理參數與人體生理反應之關聯性探討。 3. 建立低壓缺氧條件與生理指標運算模式。 4. 開發低壓缺氧耐受性之生理指標雛型演算法。
	(3) 飛行員G耐力、低壓缺氧耐受性表現與壓力關聯模式探討	研發單位	112	<ol style="list-style-type: none"> 1. 航訓安全與飛行員生理關聯研究，包含高G昏迷與減壓/低壓損傷等項目。 2. 飛行員生理、壓力關聯研究。
議題二 大腦認 知功能 之監控	(1) 大腦認知功能行為認知作業模式建立	學研單位	112	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用認知科學的行為作業，測量飛行員一般認知功能，包含執行功能、注意力、記憶、語言、情緒調節等功能。

		模式				2. 比較飛行員與一般人的認知功能差異，並建立飛行員認知功能常模。
		(2) 動暈反應眼動指標運算模式探討與建立	學研單位	112		<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立動暈症狀程度與客觀眼動、瞳孔改變與微小眼動測量的關連性分析。 2. 發展不同眼動認知作業，測量動暈程度對客觀眼動、瞳孔改變與微小眼動的影響。 3. 建立動暈程度眼動指標運算模式。 4. 開發動暈程度眼動指標演算法。
		(3) 夜視鏡環境與訓練對視覺注意力功能腦波指標運算模式探討與建立	學研單位	112		<ol style="list-style-type: none"> 1. 比較夜視鏡暨夜視力訓練環境與一般環境之認知注意力與視知覺功能的差異。 2. 使用客觀腦波指標(例如視覺誘發電位)評估與追蹤夜視鏡訓練對視覺功能的影響。
	議題三	(1) 低壓高G特殊裝備之先進資料擷取分析技術	研發單位	112		<ol style="list-style-type: none"> 1. 資料儲存分析平台建置，於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中，進行資料擷取測試。
	特殊裝備場域先進資料擷取技術	(2) 低壓高G環境穿戴式生理感測雛型裝置研製	研發單位	112		<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計符合可在低壓高G環境環境下使用之穿戴式生理感測雛型。 2. 進行雛型裝置試製與測試。
		(3) 低壓高G特殊裝備之模擬飛行訓練科目規劃與生理變化感測實驗建置	研發單位	112		<ol style="list-style-type: none"> 1. 規劃至少2種航訓生理中心之模擬飛行訓練科目。 2. 低壓高G(同上)特殊裝備之生理變化感測實驗建置規劃。

			議題四	(1)高G環境下智慧G耐力生理指標模型與預警機制技術	研發單位	113	1. 智慧型G耐力指標演算法模型建立。 2. G耐力指標預警機制建立與測試。
			航生訓練預警機制建置與安全模式發展	(2)低壓環境下之智慧缺氧耐受性生理指標模型與預警機制技術	研發單位	113	1. 智慧型低壓缺氧耐受度指標演算法模型建立。 2. 低壓缺氧耐受度指標預警機制建立與測試。
				(3)航生訓練安全與飛行員壓力預警機制關聯模式建立	研發單位	113	1. 航生訓練安全與飛行員生理關聯研究，包含高G昏迷與減壓/低壓損傷等項目。 2. 飛行員生理、壓力關聯研究。
				議題五 虛擬實境認知多工處理系統研發	(1)虛擬實境高壓力認知多工處理系統研發	學研單位	113
			(2)整合穿戴式多模態生理感測之虛擬實境認知多工處理系統運算指標模式探討與建立		學研單位	113	1. 穿戴式生理訊號收集之硬體設備模組建立。 2. 結合虛擬實境之飛航高壓認知多工作業系統與生理訊號收集。 3. 開發演算法建立生理訊號與模擬表現關聯系統。
			(3)整合生理與腦波眼動訊號感測之虛擬實境系統運算指標模式探討與建立		學研單位	113	1. 穿戴式腦波與眼動訊號收集之硬體設備模組建立。 2. 結合虛擬實境之飛航高壓認知多工作業系統與腦波與眼動訊號收集。 3. 開發演算法建立腦波與眼動訊號與模擬表現關聯系統。

			議題六	(1)低壓高G特殊裝備之先進資料傳輸抗干擾技術	研發單位	113	3. 於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中,以抗干擾方式進行資料傳輸與擷取測試。
			特殊裝備場域資料傳輸與腦波意識指標發展技術	(2)低壓高G環境腦波信號擷取離型裝置研製技術	研發單位	113	1. 於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中,建立可於封閉式環境中進行腦波信號擷取之裝置。
				(3)低壓高G環境腦波與意識關聯性建立及指標化技術	研發單位	113	1. 於低壓高G(同上)特殊裝備實驗環境中,腦波與意識清醒程度之關聯性, 2. 並建立意識指標演算模式。
				議題七	(1)飛行員模擬飛行場域G耐力預測模組開發	研發單位	114
			飛行適能狀態評估發展	(2)飛行員模擬飛行場域缺氧耐受性預測模組開發	研發單位	114	1. 可於模擬飛行場域環境中,進行航訓飛行員缺氧耐受性指標之判讀預測。
				(3)飛行員之生心理飛行適能快速評估技術發展	研發單位	114	1. 航訓飛行員之生心理飛行適能快速評估測試。
			議題八	臨床大腦認知健康之診療與影響追蹤	學研單位	114	1. 比較在低壓缺氧訓練環境中,腦波指標和認知功能與一般訓練條件下之差異性。 2. 探討在低壓缺氧訓練下,對視知覺注意力與執行功能功能等不同認知能力的影響。 3. 建立低壓缺氧條件與腦波指標運算模式。

						4. 建立低壓缺氧條件與腦波指標離型演算法。
			(2) 個人化大腦認知整合性指標之判讀系統的技術開發	學研單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 結合眼動與腦波資料發展飛行員之生心理飛行適能即時評估測試系統。 2. 使用使用非線性動態數據分析技術 (Holo-Hilbert Spectral Analysis, HOSA) 開發算則, 分析不同飛航訓練環境中之最優化的大腦表現特徵。 3. 用此演算法檢視不同個體表現, 以發展個人化判讀指標。
			(3) 飛航員長期高壓環境對大腦與心理健康之長期追蹤研究	學研單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 長期追蹤飛行員的認知功能改變, 比較飛行員與一般控制組之長時間大腦認知健康指標差異。
		議題九 強化開發大腦認知功能系統	(1) 強化大腦認知功能之臨床技術研發	學研單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設計不同認知作業以增強飛行員認知功能。 2. 探索不同認知訓練對飛行模擬訓練表現的關連性分析。 3. 開發認知訓練App。
			(2) 降低動暈反應之臨床技術研發	學研單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 比較不同介入方式(例如腹式呼吸、生理回饋放鬆技術、非侵入性腦刺激、虛擬實境練習等)對動暈症狀減緩的效果評估。 2. 整合不同介入方式, 發展新的protocol, 以降低動暈症狀。

		(3) 強化心理壓力訓練之臨床技術研發	學研單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 比較不同抗壓力介入方式對心理抗壓力的效果評估。 2. 發展科學化客觀量化心理抗壓力的生理指標。 3. 整合不同介入方式，使用客觀指標發展新的protocol增加飛行員抗壓力。
議題十 特殊裝備場域模擬多面向飛行適能即時評估系統		(1) 飛行員模擬飛行訓練之腦波意識清醒程度評估與警示模組開發	研發單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低壓高G模擬飛行訓練下，發展飛行員之腦波意識清醒程度評估與警示模組。
		(2) 飛行員模擬飛行場域之壓力/自主神經活性評估與警示模組開發	研發單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低壓高G模擬飛行訓練下，發展飛行員之壓力/自主神經活性評估與警示模組。
		(3) 飛行員之多面向飛行適能即時監測與警示機制整合	研發單位	114	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多面向飛行適能即時監測系統之整合功能測試 2. 警示機制驗證測試。

二、議題分年經費分配表

112 年(計畫第一年)

金額單位：仟元

研究議題	承接單位	研發單位	學研單位	小計
議題一：飛行生心理指標評估模式建立與安全模式				
議題二：大腦認知功能之監控模式				
議題三：特殊裝備場域先進資料擷取技術				
總計				

113 年(計畫第二年)

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	研發單位	學研單位	小計
議題四：航生訓練預警機制建置與安全模式發展			
議題五：虛擬實境認知多工處理系統研發			
議題六：特殊裝備場域資料傳輸與腦波意識指標發展技術			
總計			

114 年(計畫第三年)

金額單位：仟元

研究議題 \ 承接單位	研發單位	學研單位	小計
議題七：飛行適能狀態評估發展			
議題八：臨床大腦認知健康之診療與影響追蹤			
議題九：強化開發大腦認知功能系統			
議題十：特殊裝備場域模擬多面向飛行適能即時評估系統			
總計			

一、申請補助經費

金額單位：仟元

執行年次 \ 補助項目	第一年 (112年)		第二年 (113年)		第三年 (114年)		全程總經費
	研發單位	學研單位	研發單位	學研單位	研發單位	學研單位	
業務費(a+b+c)							
a. 研究人力費							
b. 材料、耗材及雜項費用							
c. 差旅費							

七 成本分析

		研究設備費						
		管理費						
		合計						
<p>二、重大研究設備說明 無編列設備費用</p>								
八	預期成果	<p>本計畫係針對我國空軍戰士，研發出適用於航訓模擬環境之穿戴式生理訊號感測裝置與G耐力、缺氧耐受性量化指標技術，以及維護飛行員訓練與飛航安全之飛行適能快速評估與警示機制。希冀藉由評估飛行員之體能與壓力指標，警示提醒飛行員訓練狀態，並提供給地面控制中心研判飛行員之飛行適能狀況，以維護訓練與飛航安全。未來預期效益為：</p> <p>(A)模擬訓練場域 (空軍岡山航空生理訓練中心)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 訓練學員可使用舒適性的<u>穿戴感測裝置</u>，透過本計畫產出的平台系統，主訓教官於模擬設備外部，可即時瞭解學員之各種生理參數(心跳、血氧濃度)，以及生理狀態量化的指標。 ➢ 結合眼動腦波生理指標，發展即時監控認知負荷的預警機制，以輔助訓練成效。 ➢ 藉由量化的G耐力、缺氧耐受性指標、大腦認知指標，及其<u>即時監控預警機制</u>，主訓教官可瞭解G力昏迷或缺氧昏迷之前期變化，並提早預警G力(缺氧)昏迷，以維訓練安全。 <p>(B)高空戰訓場域 (未來)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 透過本計畫產出的平台系統，可提供飛行員每日G耐力及缺氧耐受性變化之參考，可避免飛行員的疲勞、壓力所導致的相關意外。 ➢ 可提供飛行員了解個人每日認知負荷功能變化狀況，藉由量化性資料和指標參考，精準監控飛行員之生心理狀態。 ➢ 作為飛行前任務提示時，協助評估飛行員當下生理狀況，進而建立人員及單位警覺機制，能迅速調整以提昇全體作戰能力與質量，以維飛航安全。 						

「國防先進科技研究計畫」技術備便水準 (TRL)
評估表

項次	關鍵技術名稱	現有TRL等級	TRL 評定理由	目標TRL等級	風險評估說明
1	航空生理監測警示技術	TRL3	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對軍事空中場域及機艙環境的飛行員相關生理研究，因數據取得困難，少有學者研究驗證，亦有待建立完整之地面模擬飛行低壓低氧高G環境的生理資料庫。 2. 目前我國空軍航空生理訓練中心雖有低壓艙與離心機等模擬環境，但針對航空生理監測警示之技術研究仍較缺少，且未充分驗證。 3. 本計畫將配合航訓中心現有低壓艙與離心機等高逼真度模擬環境下進行實驗，運用飛行員之航空生理信號，透過人工智慧技術，得出相關生理及壓力參數演算法，並發展可於適用飛行場域之生理與壓力監測評估技術，並發展生理警示機制之技術。 	TRL5	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需依不同使用情境(模擬高空飛行低壓低氧高G環境)，分別實施案例數據蒐集、分析，研發飛行員之航空生理與壓力參數監測初始模型。 2. 需於特定飛行模擬實驗環境下，進行航空生理壓力動態偵測、實驗分析，以確認可行性。 3. 生理警示機制技術，需要蒐集大量資料，以驗證模型準確性。
2	低壓高G環境穿戴式生理感測裝置	TRL3	<p>針對航訓裝備場域環境下，開發符合極端環境下之硬體，將基礎的技術組件予與具適度真實性的支援單位整合，使其可在於模擬的環境下作實驗，藉特定生理訊號感測裝置及偵測組件架構、基礎原理與技術，並進行相關生理數據蒐集、分析與關鍵功能開發。</p>	TRL5	<p>需提升硬體設備(特定航空生理感測裝置、資料傳輸抗干擾等技術)規格以符合特定場域(模擬高空飛行低壓低氧高G環境)與環境(如環境溫度、防水等規範)。</p>

<p>3</p>	<p>航空大腦 認知功能 監測技術</p>	<p>TRL3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對軍事空中場域及機艙環境的飛行員相關大腦認知研究，因數據取得困難，少有學界研究。 2. 目前我國空軍航空生理訓練中心使用主觀的判定方式，包括監測飛行員軍事場域對認知功能影響，動暈嚴重程度。但針對開發客觀的認知大腦功能判讀系統研究仍缺少，且未驗證。 3. 本計畫將配合國軍飛航訓練單位現有高空缺氧和減壓訓練，空間迷向模擬訓練儀、電動減敏椅訓練與夜視鏡暨夜視力訓練等模擬實驗環境，運用認知神經科學相關技術，精準測量飛行員大腦認知功能，並透過計算科學與人工智慧技術，得出相關大腦認知數據演算法，並發展可於適用飛行場域之大腦認知功能監測評估技術。 	<p>TRL5</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需依不同使用情境，分別實施案例大腦認知功能作業表現的數據蒐集、分析，研發飛行員之大腦認知功能參數監測初始模型。 2. 需於特定飛行模擬實驗環境下，進行大腦認知功能動態偵測、實驗分析，以確認可行性。 3. 大腦認知功能警示機制技術，需要蒐集大量資料，以驗證模型準確性。
----------	-------------------------------	-------------	---	-------------	--

4	航空大腦認知功能開發訓練技術	TRL3	<ol style="list-style-type: none"> 1. 針對訓練軍事飛行員的大腦認知功能，少有學界研究。目前我國飛行員尚未系統化地發展大腦認知功能訓練以及降低動暈症狀的方法。 2. 本計畫將配合國軍飛航訓練單位，根據臨床醫學與心理學與認知神經科學系統性開發訓練大腦認知功能與降低動暈症狀的相關技術。 	TRL5	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需依不同操作需求開發相關的大腦認知功能訓練技術，分別實施案例大腦認知功能作業表現的數據蒐集、分析，研發飛行員之大腦認知功能加強成效初始模型。 2. 開發大腦認知功能訓練技術，需要長時間評估訓練成效，並蒐集大量資料，以驗證模型準確性。
<p>註：本表請依本部「國防科技發展教則」評估技術能量。</p>					