

出國報告（出國類別：參加國際研討會）

**2018 第 3 屆複合材料與
材料工程國際研討會
2018 3rd International Conference on
Composite Materials and Material
Engineering(ICCMME 2018)**

服務機關：國防大學理工學院動力及系統工程系

姓名職稱：陳幼良 教授

派赴國家：新加坡

出國期間：107/01/25~107/01/29

報告日期：107/02/05

摘要

本次參加之第三屆複合材料與材料工程國際研討會(2018 3rd International Conference on Composite Materials and Material Engineering, ICCMME2018), 係結合智能材料應用研討會(2018 International Conference on Smart Materials Application, ICSMA 2018)共同舉行, 於 1 月 26-28 日假新加坡大學蕭基金會建立之校友會館(Shaw Foundation Alumni House)舉辦。大會安排有專題演講、論文發表、海報展示等活動。來自世界各地參與會議的論文發表者及聽講者(包含學者教授、研究生、產業界研究人員) 約 100 名。這次會議提供不同區域學者及業界代表面對面的交流機會, 將新的研究方法與應用經驗相互觀摩學習, 冀能進一步建立業務或研究關係, 或尋找未來合作的夥伴, 並期望能對相關領域的最新科學知識交流有所貢獻。

本次會議接受稿件約 100 篇, 學術領域計有: 複合材料、高分子及高分子複材、材料物理及智慧材料、材料化學及化學工程、生醫材料及生醫工程、合金及材料製程、奈米材料及工程應用材料、機械製造及控制工程等主軸, 內容涵蓋廣泛。

個人此行以“各層不同成分及厚度之 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ 功能梯度材料對抗彈性能的影響”為題口頭發表論文。該文探討以不同物理性質的兩種陶瓷材料製成梯度材料, 以實彈測試及有限元素數值模擬方法比較不同組合試片之抗彈性能, 可作為抗彈結構輕量化設計的參考。個人並擔任一個議程的會議主席。此行除吸取新知、了解各領域的研究主題外, 經由與國外學者交流, 可增廣見聞, 有助於未來教學研究之精進。

目次

摘要.....	2
目次.....	3
目的.....	4
過程.....	4
心得及建議.....	6
附件一：獲邀發表論文簡報.....	7
附件二：參與交流研討之相關照片.....	11

目的

- 1.赴新加坡大學參加第三屆複合材料與材料工程國際研討會，發表研究成果。
- 2.與國際學者進行學術交流。
- 3.主持一場口頭發表議程。

過程

此次研討會於於 1 月 26-28 日假新加坡大學蕭基金會建立之校友會館(Shaw Foundation Alumni House)舉行。大會由主席致歡迎詞並進行團體合照後揭開序幕。大會安排了五場主(專)題演講，其中由新加坡大學機械系呂教授演講主題為”石墨烯應用於鈉離子電池(Sodium-ion)在 NASICON 結構材料電化學表現的影響”，由於鋰離子電池(Li-ion)已被廣泛用於可攜型的電子產品及電動車上，鋰的存量正快速的減少，新的儲能材料有迫切的需求，而鈉在地球上取之不盡，是很理想的替代材料，對鈉電池而言，NASICON-type 是一個潛在的陰極材料，然而由於其表現不佳的電子傳導限制了他的充電及循環使用的性能。本研究利用陽離子摻雜和石墨烯來增加固有的及外在的傳導率，實驗結果令人滿意。同為新加坡大學材料科學與工程學系的龔教授以”薄膜太陽能電池最新發展”為題，輕量化可讓太陽能電池可承載於任何可移動系統的表面，有依些材料可縮短充電轉換路徑並且消耗較少能源。本文主要介紹兩種太陽能電池材料，一為 CZTS，另一為有機-無機鈣鈦礦(organic-inorganic perovskite) 材料，具有製成便宜及高效率的太陽能電池的潛力。來自義大利 Salento 大學創新工程系的 Alfonso Maffezzoli 教授發表主題為”混合焊接合成熱固性基體複材和鋁元素”，本研究主旨為如果能克服完全不同物理或化學性質的材料而使之結合在一起，那麼滿足汽車、航空、航海工業複合材料的設計將更能夠實現。本文提出一種新的混合焊接方法結合不同性質的結構，改善傳統以黏著劑或機械式緊固方法的缺點。由於熱固機體複材(TSC)的擴散性，發展一種熔融黏合技術，結合兩種 TSC 成分或結合 TSC 和金屬可開創混合結構的擴散並改善 TSC 結合的新景象。關鍵想法在於使用焊接設備用一個熱塑層共固化於 TSC 表面以結合這些材料，然後利用該材料的熔解性質結合 TSC 或和他們一起結合鋁金屬。

分組論文發表分八個主題分別進行，每組約 9~10 位發表者，個人文章被歸納於複合材料的主題，本人發表題目“Effect of Varied Layer-content/Thickness on Ballistic Performance of a Functionally Graded $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ Material”。本文以四層為研究對象，以彈道測試及有限元素數

值模擬方法，探討試片每層不同 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ 比例變化以及厚度改變對抗彈衝擊的影響。研究結果發現，每層以 5% ZrO_2 含量改變的試片其抗衝擊表現最佳，而以 15% ZrO_2 含量改變的試片其抗衝擊表現最差，甚至低於單一 Al_2O_3 陶瓷試片。究其因為每層 15% ZrO_2 含量改變層與層間波阻抗變化增加，導致陶瓷的快速破壞，縮短其抵抗衝擊的時間，降低其抗彈性能。此外，前層厚後層薄的試片抗彈能力表面較前層薄後層厚的為佳。個人並擔任第八組議程-機械製造及控制工程的口頭發表主持人。每一場議程結束後，由各場次主持人頒發由大會準備的發表證明書。

研討會議所在地新加坡大學是一所知名學府，評價很高，校園遼闊，教學大樓櫛比鱗次，地鐵站可轉搭校園巴士至學校各處。新加坡雖然華人居多，但都以官方語言英文交談，顯示出新加坡這個城市國家的獨有特色。

中國城(牛車水)是最早由中國南來的華人聚集之處，那一時期，新加坡全島所需要的水都得用牛車自安祥山 (Ann Siang Hill) 和史必靈街 (Spring Street) 的水井汲水載到此，於是這個以牛車載水供應用水的地區就稱為牛車水。1822 年英國人萊佛士將牛車水定為華人移民的居住區。此後隨着新加坡的發展和人口的繁榮，牛車水變得過度擁擠，華人移民開始向新加坡的其他地區定居。牛車水有著早期華人艱苦的生活風貌與歷史建築，現今也是觀光客必到訪之處，除了一嚐知名特色美食外，適逢農曆年將屆，街道上張燈結綵，應景年貨紛紛出籠，好不熱鬧。克拉碼頭位於新加坡河北岸，兩岸有許多歷史建築，步行區餐館、酒吧林立，夜晚人潮擁擠，霓虹燈妝點之下別有一番風情；晚上搭船遊新加坡河也是一個難忘的經驗，船行至濱海灣金沙酒店前，定時撥放的雷射水舞燈光秀，極其壯觀絢爛，令人目不暇給，夜晚四周也是人潮蜂擁聚集之處。

新加坡在濱海灣蓋了很大的溫室(Flower dome)，裡面有來自世界各地的稀有的花草植物，倘佯其中心曠神怡，美不勝收，另有一模擬一千多公尺植物生長區的雲林(Cloud forest)，進入裡面就如同身處山林中，溫度裡外相差十幾度，十分清涼，設有步道可盤旋而下，欣賞人造山林之美，同時具備環境教育的宣導影片。

新加坡樟宜機場空間非常大，同時也應景布置了充滿年味的裝飾，充分體現這個城市國家的活力與特色。

心得及建議

2018 第三屆複合材料與材料工程國際研討會(2018 3rd International Conference on Composite Materials and Material Engineering, ICCMME2018)，結合智能材料應用研討會(2018 International Conference on Smart Materials Application, ICSMA 2018)共同於新加坡舉行。計分八個主題研討、涵蓋領域極為廣泛。參與會議的論文發表者及聽講者約 100 名，遍及世界各國，透過此會議將研究成果發表於國際，並與各領域研究人員交流，達成參與該研討會的目的，也是參與者最大的收穫。

研討會的主辦地新加坡大學在世界大學排名在很前面，擁有頗高的知名度，學生入學管道及學制多元化，政府也大力投資支持教育。來自地主的幾位大會主題演講者，在各別領域也都有新的研究想法呈現。

國防自主的目標方針，必須有前瞻的規劃，整合優秀的人才，結合業界、學界及研發機構，設定明確的步驟，全力的投入，庶幾有成。而國防工業的發展必須政府給予大力支持，持之以恆，冀望在關鍵技術與創意上能有所突破，並延伸至國內的相關產業及研究方向上，藉以提高我國之競爭力。

以觀摩學習的態度參加此次國際研討會，深深感覺教學與研究所擔負的責任；看到國際間各學者最近研究成果，對各種材料的研究、性能強化、製程技術、應用層面，以及控制工程等都不遺餘力，個人認為應多鼓勵我國相關學者與研究人員參加國際交流會議，讓從事科技研究人員拓展視野、得到更多的啟發，期能具備足夠的競爭力。同時，深感英文表達能力之重要性，此後亦當持續鼓勵研究生參加國際研討會，以培養其表達與溝通的能力。

藉由參加此次研討會，充分體會到新加坡在各方面展現的活力與生機，發揮了這個城市國家的特色。

ICCMME 2018

Effect of varied layer-content /thickness on ballistic performance of a functionally graded Al_2O_3/ZrO_2 material

Presenter: Yu Liang Chen
Professor
Dept. of Power Vehicle and Systems Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taoyuan, Taiwan

OUTLINE

1. Introduction
2. Specimens Preparation
3. Ballistic Test
4. LS-DYNA Numerical Simulation
5. Results and Discussion
6. Conclusion

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C. 2018/2/4

1. Introduction

Materials used

- ◆ **Metal**
 - Alloy steel
 - Aluminum alloy
 - Titanium alloy
- ◆ **Ceramic**
 - Al_2O_3
 - ZrO_2
 - SiC
 - B_4C
- ◆ **Fiber**
 - Kevlar
 - Spectra
 - Dyneema
 - Carbon fiber
- ◆ **Composite**
 - Ceramic/metal
 - Ceramic/fiber
 - Ceramic/ceramic
 - Metal/metal

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C. 2018/2/4

Impact process

Projectile impacts ceramics/target composite :

- ☐ Impact period
- ☐ Projectile squeezes ceramic conoid
- ☐ Projectile and ceramic conoid press back plate

The function of back plate :

- Supporting ceramics and delaying fractured conoid formulation ;
- To accumulation of fractured conoid continues wear the projectile ;
- Plastic deformation of back plate absorbs residue kinetic energy of the projectile

1. Introduction

Two major problems of composites affecting anti-ballistic capability :

- Wave impedance mismatch in adhesives
- Delamination

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C. 2018/2/4

FGM

Functionally Graded Material (FGM) is the material elements (composition, structure) changes along thickness direction, resulting in gradient change of the materials in characteristics and functions.

Manufacturing method :

- Powder metallurgy
- Self-propagating high temperature synthesis (SHS)
- Discharge plasma sintering (DPS)
- Physical vapor deposition (PVD)
- Chemical vapor deposition (CVD)
- Electrodeposition method
- Laser cladding method (SLM)

Ballistic test

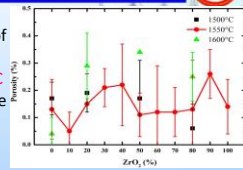
```

graph TD
    A[Objective (FGM)] --> B[Ballistic test]
    B --> C[Simulation analysis]
    C --> D[Varied layer thickness (2234, 3332, 4322)]
    C --> E[Varied ZrO2 layer content (5%, 10%, 15%)]
    C --> F[Comparison with pure Al2O3 (PCM)]
    
```

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C. 2018/2/4

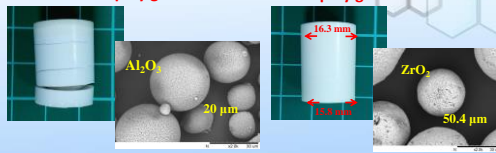
2. Specimens Preparation

- Al₂O₃ and 3mol%Y₂O₃-ZrO₂.
- The sintering temperatures of all specimens increased from room temperature to 1550 °C at a rate of 1 °C/min and were maintained at 1550 °C for 3 h before being allowed to cool naturally.



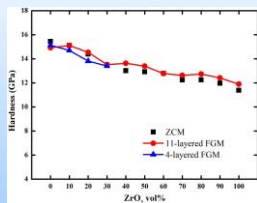
Material	Melting point (°C)	Coefficient of heat expansion (10 ⁻⁶ /°C)	Original grain size (µm)	Spray granulation grain size (µm)
Al ₂ O ₃	2050	8.6	0.55	20
ZrO ₂	2715	10.1	0.30	50.4
TiB ₂	2200	8.1	-	-
SiC	2200	4.7	-	-
B ₄ C	2450	1.5	-	-

without Spray granulation vs Spray granulation

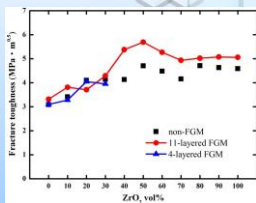


◆ Spray granulation powder in ceramic green forming can increase its mobility to avoid cracking at high temperature sintering.

Mechanical properties



Hardness
 $H_v = 0.0018544 \left(\frac{P}{d^2} \right)$



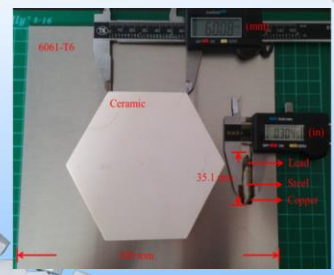
Fracture toughness
 $K_{Ic} = 0.016 \left(\frac{E}{H_v} \right)^{1/2} \left(\frac{P}{C^3} \right)$

Specimens design

Varied layer thickness 4-layer FGM

Specimens	1 st layer	2 nd layer	3 rd layer	4 th layer	AD (g/cm ³)
10%-2234 FGM	ZrO ₂ : 0% T (mm): 2	ZrO ₂ : 10% T (mm): 2	ZrO ₂ : 20% T (mm): 3	ZrO ₂ : 30% T (mm): 4	4.62
10%-3332 FGM	ZrO ₂ : 0% T (mm): 3	ZrO ₂ : 10% T (mm): 3	ZrO ₂ : 20% T (mm): 3	ZrO ₂ : 30% T (mm): 2	4.53
10%-4322 FGM	ZrO ₂ : 0% T (mm): 4	ZrO ₂ : 10% T (mm): 3	ZrO ₂ : 20% T (mm): 2	ZrO ₂ : 30% T (mm): 2	4.50

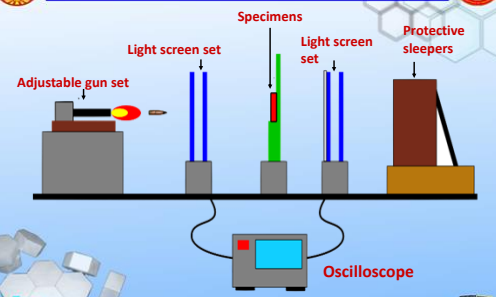
3. Ballistic Test



Specimens:
Hexagon ceramics & Aluminum back plate

Projectile:
.30" AP

Schematic diagram of ballistic test

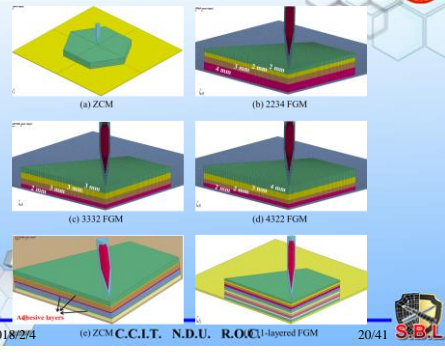


4. LS-DYNA Simulation

FEM Model & Parameters

- ◆ 1/4 model with SOLID164 3D. contained 235,600 grids
- ◆ Projectile : Copper , Steel
- ◆ Targets : Ceramics Aluminum
- ◆ Grids : FGM : 235,600 PCM : 401,350
- ◆ Steel : MAT_03
- ◆ Cu, Al : MAT_10 (EOS)
- ◆ Ceramics : MAT_110
- ◆ CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_SURFACE

FEM models



(e) ZCM, (f) 1-layered FGM

Johnson-Holmquist Model

The JH-2 model is a mechanical model that describes the strength, plastic behavior, and cumulative damage of brittle materials under high pressure, high strain rate, and severe deformation. The model comprises an equation of state (EOS) for materials, strength model, and cumulative damage model

Equation of State, EOS

$$P = K_1 \mu + K_2 \mu^2 + K_3 \mu^3$$

Strength Model

$$\sigma^i = \sigma_i - D(\sigma_i - \sigma_j^*) \quad \text{intact} \quad \sigma_i^* = A(P^* + T^*)^N [1 + C \ln \&]]$$

Damage Model

$$\sigma_j^* = B(P^*)^M [1 + C \ln \&] \quad \text{damaged}$$

$$D = \sum \frac{V_i \epsilon_i^p}{\epsilon_f^p} \quad \epsilon_f^p = D_i (P^* + T^*)^{D_i}$$

2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

21/41



Johnson-Holmquist Model

Symbol	RG	G	A	N	C
Parameter	Density	Shear modulus	Interfacial strength parameter	Interfacial strength parameter	Strength parameter
Acquired method	Archimedes drainage	Supersonic test	Static compression test and Split-Hopkinson Pressure bar dynamic test		

Symbol	B	M	T	HEL	PHEL
Parameter	Fractured normalized strength parameter	Fractured strength parameter	Max. Tensile strength	Hogoniot elastic limit	Hogoniot pressure
Acquired method	Constraint dynamic pressure test	MTS		Calculated from obtained parameters	

Symbol	K ₁	K ₂	K ₃	D ₁	D ₂
Parameter	Bulk modulus			Material parameter	Material parameter
Acquired method	Supersonic test	Set to zero			Comparison between test and simulation

$$\sigma_i^* = A(P^* + T^*)^N [1 + C \ln \&] \quad \text{HEL} = \frac{1-v}{(1-2v)} Y_c$$

$$\sigma_j^* = B(P^*)^M [1 + C \ln \&] \quad \epsilon_f^p = D_i (P^* + T^*)^{D_i}$$

$$P_{HEL} = \frac{1}{3} \frac{(1+v)}{(1-v)} \text{HEL}$$

2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

22/41



5. Results and discussion

JH-2 model parameters obtained

ZrO ₂ (%)	ρ (g/cm ³)	G (GPa)	A	B	C	M	N
0	3.92	158	0.91	0.92	0.006	0.80	0.47
10	4.14	148	0.90	0.69	0.007	0.77	0.49
20	4.35	143	0.82	0.57	0.015	0.72	0.50
30	4.56	137	0.84	0.59	0.011	0.70	0.55
40	4.77	127	0.83	0.65	0.014	0.73	0.52
50	4.97	120	0.81	0.65	0.015	0.73	0.55
60	5.21	109	0.70	0.50	0.033	0.67	0.51
70	5.41	103	0.81	0.59	0.019	0.71	0.49
80	5.59	96	0.79	0.53	0.021	0.67	0.52
90	5.85	90	0.75	0.65	0.026	0.73	0.51
100	6.03	84	0.76	0.66	0.023	0.72	0.56

ZrO ₂ (%)	γ (MPa)	HELL (GPa)	K ₁ (GPa)	K ₂ (GPa)	SFMAX	ν
0	259	10.2	5.6	254	0.5	0.24
10	397	12.2	6.8	251	0.5	0.25
20	429	11.3	6.3	242	0.3	0.25
30	671	11.0	6.1	234	0.3	0.25
40	543	12.8	7.4	233	0.2	0.27
50	797	14.0	8.1	221	0.2	0.27
60	666	17.6	10.5	218	0.2	0.29
70	425	18.5	11.4	219	0.2	0.30
80	643	19.2	12.0	215	0.2	0.30
90	740	21.8	13.8	207	0.1	0.31
100	950	22.0	14.3	207	0.2	0.32

2018/2/4

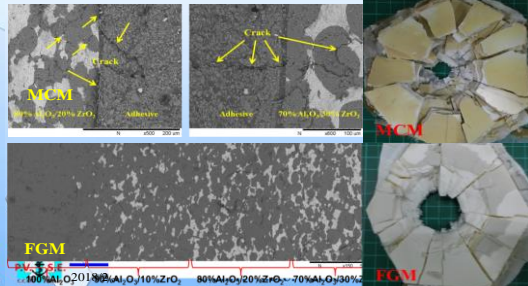
C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

26/41

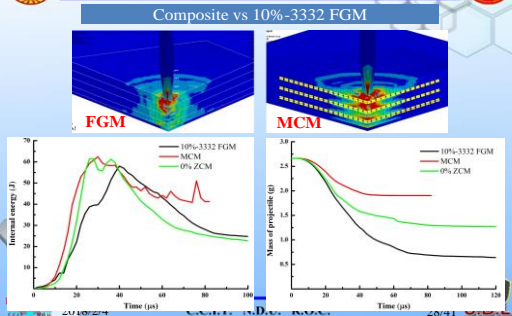


Damage form

Comparison of ceramic composite & 10%-3332 FGM



Composite vs 10%-3332 FGM



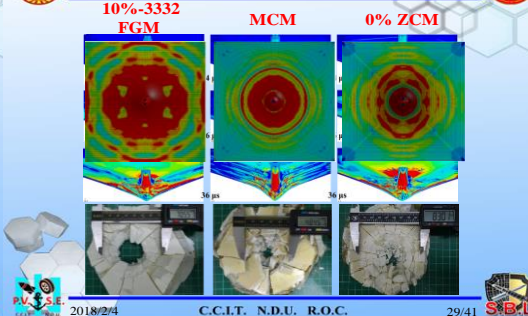
2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

29/41



10%-3332 FGM, MCM, 0% ZCM



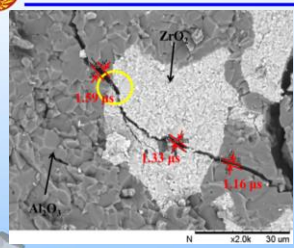
2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

29/41



SEM image after ballistic test



Crack propagation of 5% FGM after ballistic test

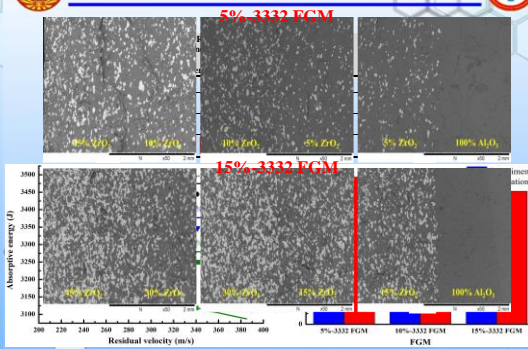
2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

31/41



5%-3332 FGM, 15%-3332 FGM

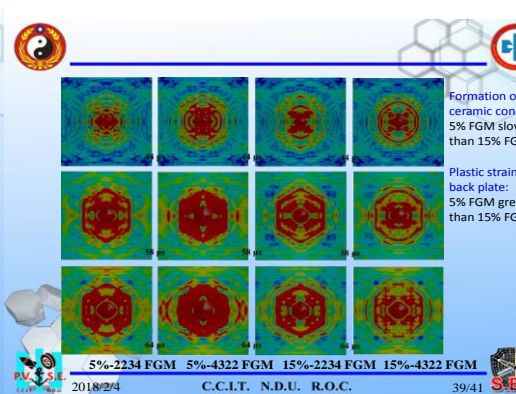
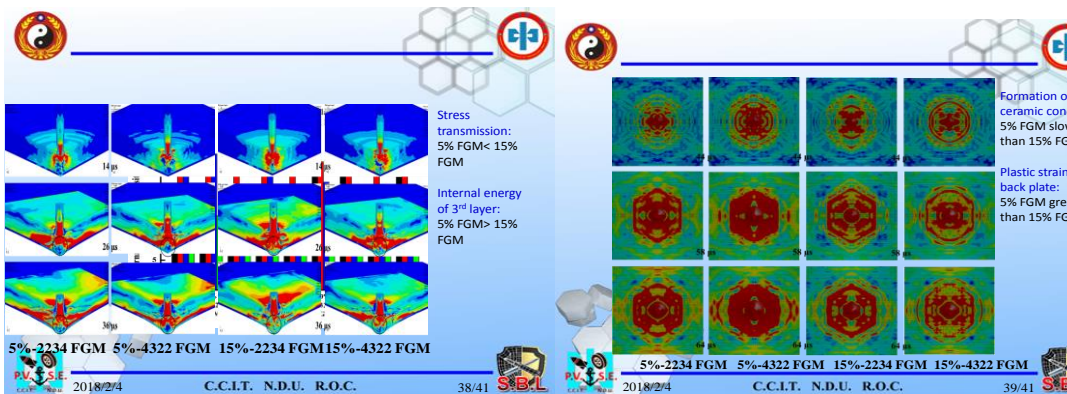
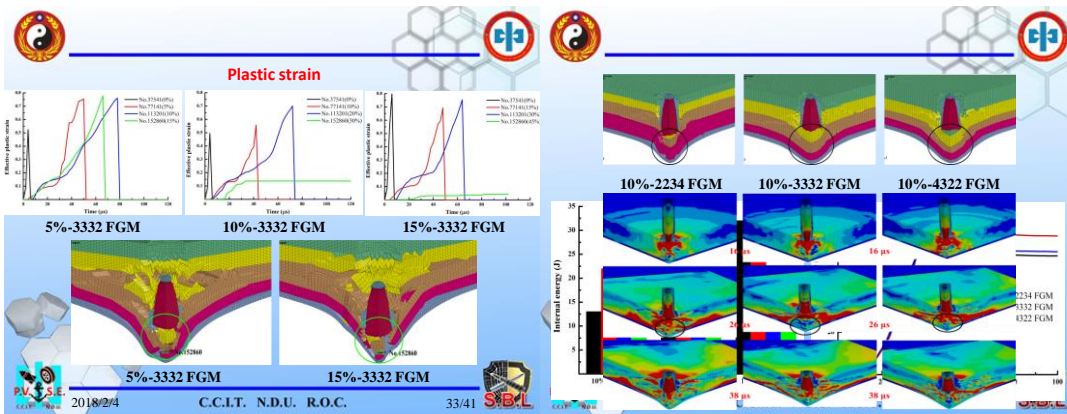


2018/2/4

C.C.I.T. N.D.U. R.O.C.

31/41





Conclusion

- The analysis of energy absorption per unit areal density suggested that the ballistic performance of the 5% FGMs increased by up to 8%, whereas that of the 15% FGMs worsened to lower than that of the PCM.
- Wave impedance differences increased with the content of ZrO_2 in each layer, thereby enhancing the interactions between impact waves and aggravating ceramic damage. Therefore, the strength of transmission and reflection of the 15% FGMs increased, causing reductions in their ballistic performance.
- The capability of the ceramic cones to withstand stress damage and projectile impact was significantly greater in the 5% FGMs than in the 15% FGMs.
- The formation of ceramic cones was slower in the 5% FGMs than in the 15% FGMs, which prolonged the squeezing of the Al backplate, thereby inducing further plastic deformation in the backplate and facilitating the absorption of impact energy.

S.B.L.

Thanks for your attention

2018/2/4 C.C.I.T. N.D.U. R.O.C. 40/41

附件二：參與交流研討之相關照片

