

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number : PEE1101213
學門專案分類/Division : 工程
執行期間/Funding Period : 2021.08.01 – 2022.07.31

可視化程式與問題導向學習於電磁波教學應用
**Applications of Visualization Programs and Problem-Based Learning in
Electromagnetic Waves**

配合課程：電磁波
Course Name: Electromagnetics Waves

計畫主持人(Principal Investigator)：高川原

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：中華大學電機系

成果報告公開日期： 立即公開 延後公開

繳交報告日期 (Report Submission Date)：111 年 9 月 20 日

可視化程式與問題導向學習於電磁波教學應用

Applications of Visualization Programs and Problem-Based Learning in Electromagnetic Waves

計畫的相關配合課程為電機系大四「電磁波」，接續去年的教學實踐研究計畫「問題導向學習與做中學於電磁學教學應用」（其配合課程為大三「電磁學」上下學期），將本系電磁學相關連的基礎與專業課程的教學內容和方法作一兼容的改革，以精進教學為宏旨。

一、研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

近十年入學新生數理基礎訓練不足，以指考入學的數學甲和物理 PR 值的十年均值大約分別落在 20 和 22 左右 [1]，參見圖 1，標準差分別為 8 和 9。本系為避免教學上衍生落差問題，因應之道有二，

1. 在大一加開基礎數學的輔助課程，和各課程實施補助教學（是在正課之外，利用空堂或夜間，在不影響正課的情形下進行多門專業課程的加強練習，為非強迫性質）。但仍無法全面滿足所有電機領域的專業課程對基礎數理的要求。
2. 改變課程結構，將必修改選修與開課年級。一直以來學生普遍對電磁學的觀點是「數學艱難」和「觀念抽象」，致使上課的氛圍枯寂毫無生氣。本系約在十年前為因應電機領域的教學趨勢與現實環境，經系上課程會議討論後，做了一些變革，將課程改成電磁學（一）為必修、電磁學（二）為選修；電磁學（一）開在三上、電磁學（二）在三下，「電磁波」在大四，但是課程大綱不變。

但這無法全面消除學生對學習電磁學的困擾與疑惑，因為傳統電磁課堂注重理論推導、例題解析，面對數理基礎是在後標和底標間的學生，這無疑還是學習高牆，無法翻越。這不禁讓台上的授課者省思，強調理論推導、例題解析，是否能訓練符合電機領域需求的人才？取而代之的是主動學習的理念，因為現代的學習資源太豐富，垂收可得，難能可貴的是自主學習的養成教育。因為從 103 學年度迄今，在電磁學教學上所採取的一些實驗性的改變，經私下與學生訪談和無記名問卷調查，發現學生對教學內容和教學型態的改變是受到歡迎的，改變傳統「電磁」相關課程教學方法與評量的概念於是形成。

因此嘗試在教學現場，作調整或改變教學方式，加入 PBL 議題，挽回學生的學習動機或學習樂趣，以期符合學生程度的教學內容，讓學生從中理解並掌握電磁觀念，進而獲得解決數學難題的動力和自信心，為本教學實踐計畫的首要任務。

二、文獻探討(Literature Review)

1. 電腦輔助教學在電磁學教學：

在去年的教學計畫曾提到電腦輔助教學在電磁波教學上有非常大的幫助，因為模擬和可視化工具可具象和立體化抽象的電磁波概念。尤其是這幾年電腦計算能力的迅速提高和 FDTD 演算法的普及，可將時間維度加入，形成動畫。在電磁波的教學上，受到很大的重視，也是電磁學輔助教學的主流[2]。而在眾多軟體中 MATLAB 最被青睞。MATLAB 在工程課程中被廣泛用作模擬和可視化工具平台已經多年，在電磁波教學呈現給學生以可視化 2D 和 3D 模型，在改善學習成效方面也非常顯著且肯定，較多的論文是著重在電磁學輔助教學的演示[4]-[7]。

MIT 的 Technology Enabled Active Learning[3]，簡稱 TEAL 即通過可視化軟體與實驗學習電磁學，並著重於可視化軟體在抽象概念教學中可具體表現的價值。其理論包括三個部分：科學可

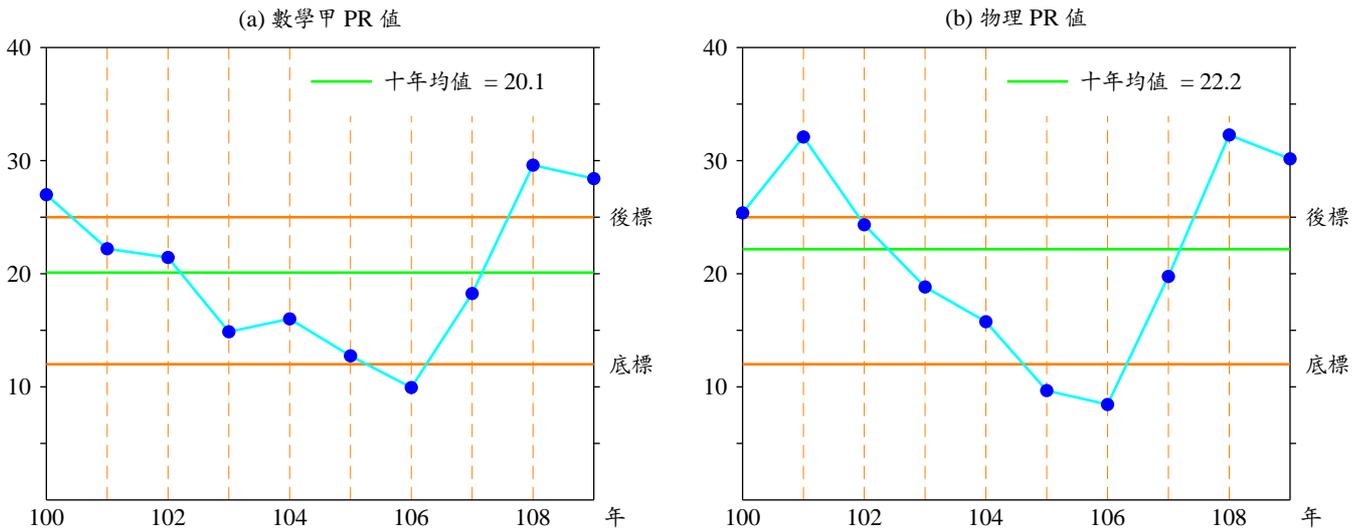


圖 1 近 10 年本系指考入學學生 (a) 數學甲, 和 (b) 物理 PR 值

視化，模擬和實驗室，以及研究模擬和物理實驗時，圖形化其結果及分析。Patil 等人的論文則提到更廣泛應用 MATLAB 於電磁學課程 TEAL 教學法中[8]，不但電磁學概念可視化，並著重於讓學生參與通過 Matlab 融合在線 (online) 學習，過程強調主動、合作與互動的教學方式，學生亦提供反饋用於評估可視化工具的有效性和方法。論文中揭示大約 85% 的學生認為比正常教學過程佳，但是需要較多的人力與設備資源。

2. 問題導向學習 (problem-based learning, PBL) 的教學方法在電磁學教學。主旨是以學生的學習為中心，希望透過實際發生的問題，讓學生們以小組團隊合作；並以口頭形式進行有效溝通，以解決所遇到的困難；並且從實際發生的問題當中尋找，評估和使用適當的資源，獲取相關的知識。目的是不希望學生為了考試，而淪為背誦的機器，而無法解決實際發生的問題。優點是融入團體互動學習風格，改變學生僵化的學習方式，讓學習環境多樣化；並幫助學生發展批判性思考和分析複雜問題的能力。在電磁學教學，有許多應用例子並且獲得良好的效果[9]-[11]。

3. 混合式的教學方法在電磁學教學。

越來越多的學習風格是混合式的，經歷不同的組合，以達到教學者的教學目標。例如「問題導向學習」與「自主學習」的混合方法，已經在 Dawood 等人的文獻中討論過[12]，學生們以自己喜歡的學習風格學習並理解所呈現的學習材料時，可以學到更多東西，因此利用問題導向議題和 MATLAB 帶入課程中。藉討論消弭模糊觀念及可視化抽象電磁現象，誘導學習動機，達到學生自主學習的目標。

本計畫將延續此學習風格並作調整，即 Matlab 不僅僅是繪圖可視化程式，而且是數值計算軟體，將介紹其 Toolbox 練習解傳輸線與天線的實例。

三、研究問題(Research Question)

計畫研究的對象為電機系大四學生，配合課程為「電磁波」，開在大四上學期，單班修課人數為 27 人。藉由引入

- ➡ 問題導向學習：藉討論達到深入了解專業知識
- ➡ 電腦輔助教學法和教材：課程演示和程式撰寫

- ➡ 多元學習評量方式：PBL討論成績、作業、IRS、和期中期末筆試

探討

- ➡ 提升「電磁波」專業知識與能力
- ➡ 提升學生學習興趣、態度與動機
- ➡ 評量「電磁波」專業知識與能力的方式

本教學研究計畫為解決教學現場的問題，以提高學習動機和深化理解電磁定律為目標，使本課程的教學品質及教學成效有所提升。

四、研究設計與方法(Research Methodology)

1. 教學方法：計畫課程規劃是在傳統課程教學中的主軸上加入三個元素，如圖 2，

- ➡ 利用 Matab 可視化程式演示和模擬抽象的電磁現象，減少嚴謹的數學推導，增加對公式物理意義的理解。
- ➡ 加入可使用 Matab 程式解題的例子，減少需要嚴謹計算的例題。
- ➡ 利用問題導向式 (PBL) 的互動討論，以強化電磁學概念。

並且增加

- ➡ 例題及 Matlab 程式練習
- ➡ 多元學習評量：問卷、訪談、IRS、作業

2. 成績考核方式

- (1) 筆試：期中和期末考共兩次，各佔 15%。
- (2) 作業，PBL 學習單，佔 25%。
- (3) 課堂 IRS，小測佔 35%。
- (4) 點名，佔 10%。(問卷的填寫併入點名分數計算)

3. 學習成效評量工具

學生在 eCampus、IRS、和 CHUMoodle 的回饋與期中考和期末專題等。因本系採用 IEET 工程認證已經行之有年(2011)，且均通過 IEET 工程認證 (2019)。本計畫預期達成之學生學習成效將採用「IEET」之課程分析評估表，與本校的教學績效評鑑知各相關項目，包括教學問卷。申請者將透過課程進行中，學生期中問卷、前後測，在 eCampus, CHUMoodle 和 IRS 的回饋、與學期結束後問卷等作為評估工具。針對本計畫在期末設計教學問卷，將「問題導向學習」與「做中學」兩個學習階段，學生對自我學習認知程度的評斷，將透過修課學生填寫「學習自我評估問卷」、「教師評量問卷」等評量工具，瞭解教學成效。問卷的填寫將採計分制，併入點名分數計算。

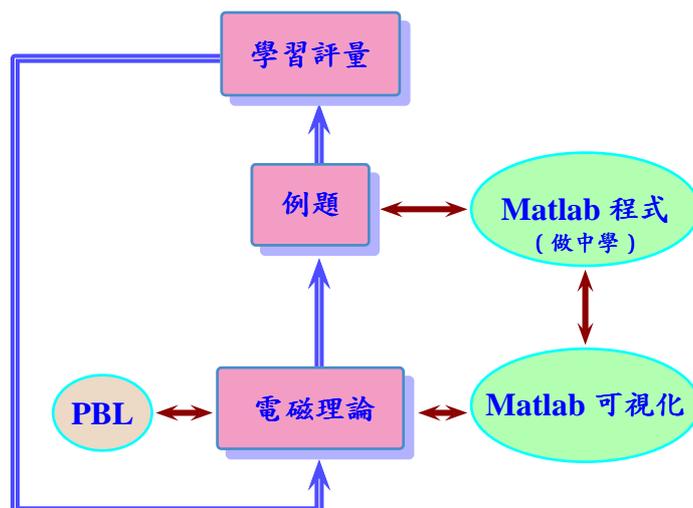


圖 2 教學規劃

五、教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

(1) 教學過程與成果

1. Matlab 程式介紹：前六周，此為因應學生在開學初問卷要求增加周次，圖 3。
2. 接續六周，教前兩章有關電磁波的特性，課堂講述為主，圖 4，電腦輔助教學法為輔，利用 Matlab 可視化程式演示和模擬抽象的電磁現象，約佔三分之一，計 18 堂課。
3. 後六周將課堂轉到電腦教室，教傳輸線理論，理論推導及公式投影片於上課前一週發布，在課堂只做簡單扼要介紹，主要學習 Matlab 軟體，並利用解題。例題的解題步驟和軟體的應用，圖 5，將作全面詳細的解釋，計 18 堂課。
4. 於每章授完後，
 - 分組實施問題導向式的互動討論，圖 6，學習單將在前一周發下，圖 7，討論該章的議題，約一節課。
 - 講解如何使用程式解題，即將電磁理論數學推演的例題改採 Matlab 程式計算。最後留 15 分鐘小測，
5. 問卷的填寫與回饋單：每章授完後，採線上填寫。

全學期 Matlab 可視化程式共 11 個，於上課中演示，課程中並不教太困難的數值方法，如 FDTD 數值方法。主要是讓學生玩程式，將程式模組化，用堆疊程式的方式解決問題。

1. 電磁感應 Faraday law。
2. 邊界條件，解 Laplace eq.，圖 8 (b)。
3. 行進波與駐波，圖 8 (c) 和 (d)。
4. 一維平面波。
5. 電場的極化。探討線偏極，圓偏極，和橢圓偏極。
6. 群速度，圖 8 (a)。
7. 坡印廷向量。求電磁波功率密度。

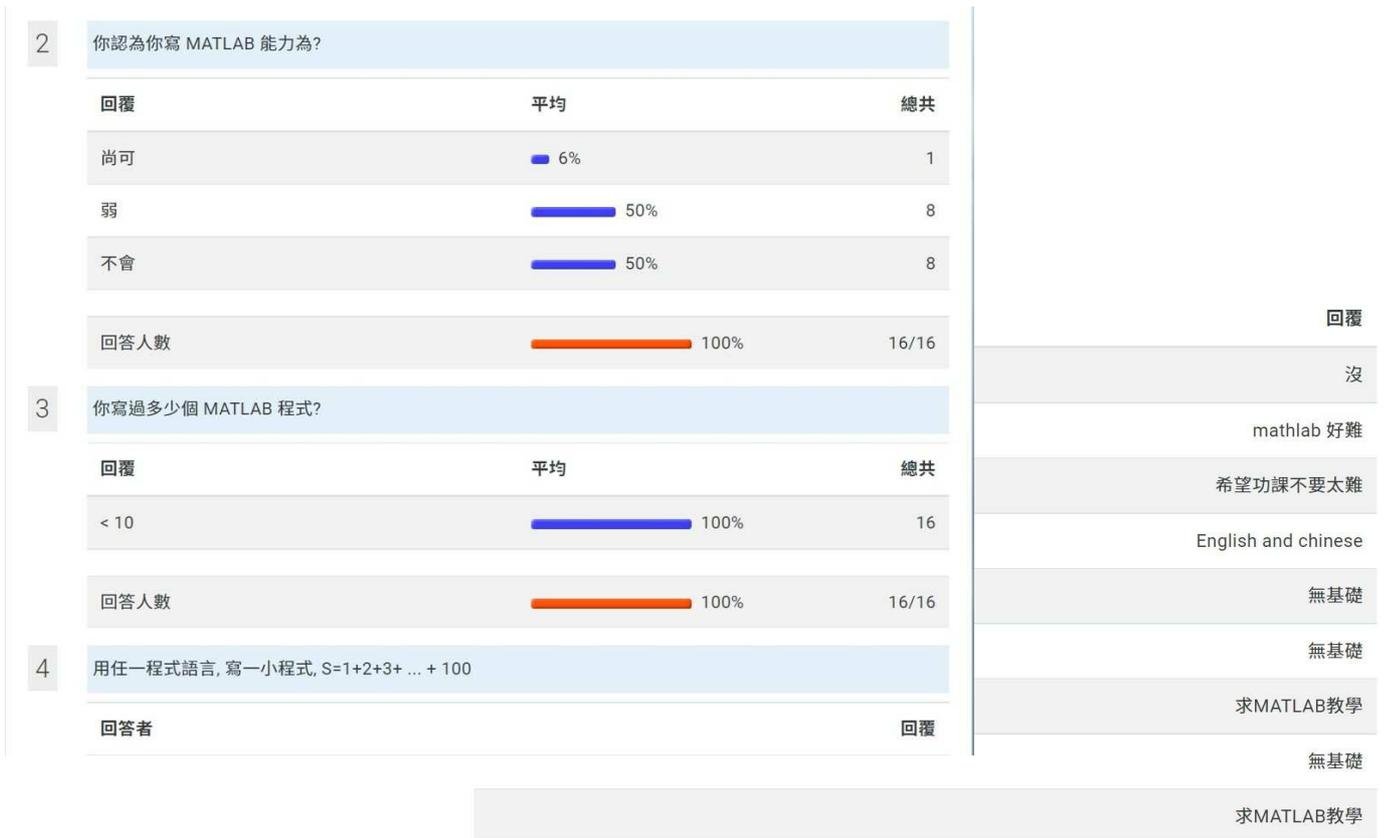


圖 3 開學初有關 Matlab 程式問卷。

8. 二維平面波，FDTD，垂直入射，斜向入射，狹縫繞射，圖 9。
9. 一維多層電介質。驗證建設性和破壞性干涉。
10. 一維平面波。驗證 Fresnel's eqs.
11. TL，平行傳輸線。

(2) 教師教學反思

- 出席率，平均值為 71%，圖 10，為大四選修現象。修課人數共 27 人，其中 1 人只有選課，從未出席。期末缺考人數為 2 人，等同放棄學分。以上連同未出席者占 11%。影響問卷的信度與效度。
- 個人期末成績與出席率是正相關的，圖 11。說明課程無法不上課在家猛讀教科書就可以高分或及格。
- 作業(含 PBL)，IRS 隨堂問答小測和期中期末平均成績也有極高相關性。唯期中期末採筆試，考試內容唯上課筆記的範圍，成績浮動較大，鑑別率低。IRS 和隨堂問答可增加同學學習的專注力，值得重視。作業的重要一直扮演深化加強學習的角色，也在此得到驗證。考慮期中或期末考刪除或降低比重是未來想嘗試的方向，希望能降低臨時抱佛腳的慣性。以上兩項標準差過大，顯示學生對課程的投入程度有很大的差異，是未來研究的重點。

期末成績與出席率

作業，IRS 小測和期中期末平均成績

8-4 Group velocity

群速度

Phase velocity (a single-frequency plane wave),

$$E(z, t) = E_0 \cos(\omega t - \beta z)$$

$$\omega t - \beta z = \text{const. phase}$$

$$\omega dt - \beta dz = 0$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\omega}{\beta}$$

$$u_p = \frac{\omega}{\beta}$$

$$u_p = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}, \quad \beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$$

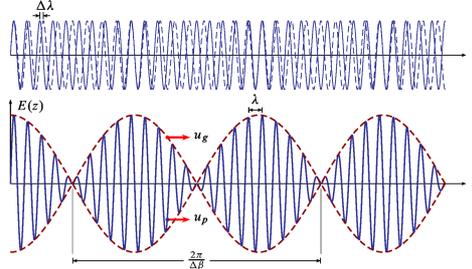
for simple isotropic medium.

Simple wave packet : composition of two travelling waves.

$$E(z, t) = E_0 \cos[(\omega_0 + \Delta\omega)t - (\beta_0 + \Delta\beta)z] + E_0 \cos[(\omega - \Delta\omega)t - (\beta - \Delta\beta)z]$$

$$= 2E_0 \cos(\Delta\omega t - \Delta\beta z) \cos(\omega_0 t - \beta_0 z)$$

$\therefore \Delta\omega \ll \omega_0 \therefore \cos(\Delta\omega t - \Delta\beta z) \Rightarrow$ slowly varying term, or envelope function.
 \Rightarrow wave packet.



$$\omega_0 t - \beta_0 z = \text{const.} \Rightarrow u_p = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega_0}{\beta_0}$$

$$\Delta\omega t - \Delta\beta z = \text{const.} \Rightarrow u_g = \frac{dz}{dt} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\beta} = \frac{1}{\Delta\beta/\Delta\omega}$$

$$\Rightarrow u_g = \frac{1}{d\beta/d\omega} \quad (\text{m/s})$$

Group velocity : the velocity of propagation of the wave-packet envelope.
 群速度 : 波包的傳遞速度。
 波振幅外形上的變化 = 波的「調變」或「波包」

u_p : velocity inside the envelope, phase velocity.
 u_g : velocity of the slowly varying envelope, group velocity.

Dispersion : when waves propagate in a lossy medium, etc., the phase const. β is not a linear function of ω i.e. waves of different frequencies will propagate with different phase velocity.
 色散 : 不同頻率的光相對於介質的速率 $n(\lambda)$ 并不相同，
 或者說相速度也不同。

e.g. ionized gas (plasma)

圖 4 課堂講述筆記

	平均	標準差
期末成績	69	17
原始成績	50	23
出席率	74	22

	平均	標準差
作業	45	30
IRS	37	28
期中期末平均	59	28

(3) 學生學習回饋：不記名問卷和訪談顯示大多數的同學，對課程的參與度有極高的熱忱，願意學習，師生互動愉快，使課程的進展達到教學相長。以期末不記名的問卷為例，

Example 8-6 窄帶信號在有損電介質中傳播，信號的載波頻率為 550 kHz，在該電介質的損耗角正切 $\tan \delta_c = 0.2$ 。電介常數 $\epsilon_r = 2.5$ 。

- (a) 確定 α 和 β 。
 (b) 確定 u_p 和 u_g 。是屬色散介質嗎？

Solution:

(a)

$$\begin{aligned} \tan \delta_c = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = 0.2 \quad & \text{i.e. } \epsilon'' < \epsilon' \\ \Rightarrow \alpha & \simeq \frac{\omega \epsilon''}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}} \\ \Rightarrow \beta & \simeq \omega \sqrt{\mu \epsilon'} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right] \\ \epsilon'' = 0.2 \epsilon' = 0.2 \times 2.5 \epsilon_0 & \\ & \simeq 4.42 \times 10^{-12} \text{ (F/m)} \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{\omega \epsilon''}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}} = \pi (550 \times 10^3) \cdot (4.42 \times 10^{-12}) \times \frac{337}{\sqrt{2.5}} = 1.82 \times 10^{-3} \text{ (Np/m)}$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon'} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right] = 2\pi (550 \times 10^3) \times \frac{\sqrt{2.5}}{3 \times 10^8} \left[1 + \frac{1}{8} (0.2)^2 \right] = 0.0182 \times 1.005 = 0.0183 \text{ (rad/m)}$$

(b)

$$\begin{aligned} u_p = \frac{\omega}{\beta} & = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon'} \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right]} \\ & \simeq \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon'}} \left[1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2 \right] \\ & \simeq \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2.5}} \left[1 - \frac{1}{8} (0.2)^2 \right] = 1.888 \times 10^8 \text{ (m/s)} \\ u_g = \frac{1}{d\beta/d\omega} & \simeq \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon'}} \simeq u_p \end{aligned}$$

i.e. low-loss dielectric ~ non-dispersive medium

圖 5 例題

問題	平均
老師上課時會說明課程的學習目標	86.1
老師上課態度熱忱、認真、負責	86.1
老師所採用之授課教材或教學方式能啟發學生學習	85.1
老師能依學生學習的反應而調整教學	85.1
老師在課堂內外樂於與學生討論課業	85.8
老師會依照課程大綱進行授課與評分	85.7
課程整體規劃與教學能培育課程所設定之核心能力	85.5
課程內容設計有助於提高我對課程學習之興趣	84.4
課程教授方式有助於提高我對課程專業知能之吸收	85.0
我已確實學習到課程有關的專業知識	84.9
總平均	85.4

六、建議與省思(Recommendations and Reflections)

- (1) 因成績的標準差太大，問卷信度有疑，宜斟酌配合採訪談方式獲得學生真實想法。
- (2) PBL 討論在人數不多的情況下，可改採課堂討論，不須分組。
- (3) 學生 Matlab 程式基礎待開先修課程，此為課程最大缺憾，如果基礎無法達標，只得將 Matlab 程式作為展演示範。
- (4) 成績評量方式：期中或期末考可去除或降低比重，增加隨堂 IRS 問答。以提高學生的課程參與，增加同學學習的專注力，融入課堂學習。



圖 6

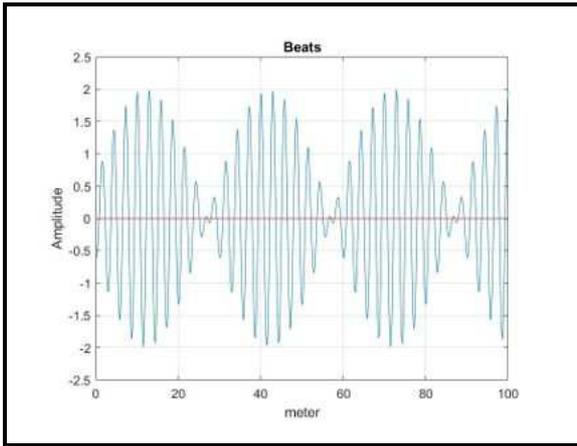
參考文獻 (References)

- [1] 本系大學入學直考和學測的成績皆為本校教務處所提供的資料。
- [2] C. M. Furse, & E. T. Iskander, (2017). Electromagnetics education: Past, present, and future directions. In *The World of Applied Electromagnetics: In Appreciation of Magdy Fahmy Iskander* (pp. 655-675). Springer International Publishing.
- [3] Y. J. Dori and John Belcher, “Learning Electromagnetism with Visualizations and Active Learning,” *Visualization in Science Education*, pp.187-216, 2005, Springer International Publishing.
- [4] S. Y. Lim and T. Benson, “Modernizing electromagnetics education: Incorporating a coursework element into an elementary exam-oriented electromagnetics module,” 2015 IEEE 4th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Kuta, 2015, pp. 241-242.
- [5] T. Hirano and J. Hirokawa, “Education materials of electricity and magnetism using MATLAB,” 2017 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), Seoul, 2017, pp. 16-18.
- [6] V. Demir and S. Kist, “Matlab demonstrations for concepts in electromagnetics,” 2015 31st International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics (ACES), Williamsburg, VA, 2015, pp. 1-2.
- [7] L. Sevgi, “Teaching electromagnetics via virtual tools,” 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, 2015, pp. 1021-1022.

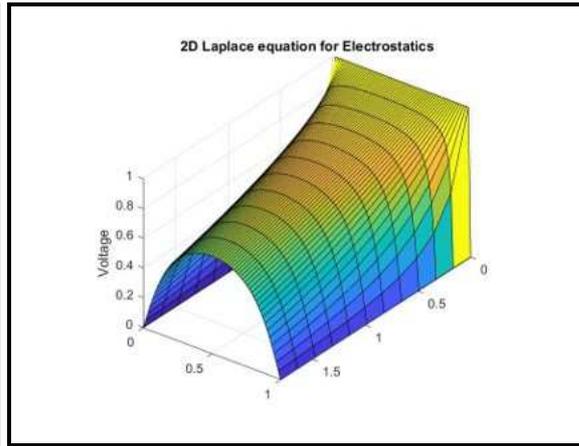
<p>電磁波 Electromagnetics Waves</p> <p>kao@chu.edu.tw</p> <p>PBL 1. 波 Waves</p> <p>Class : EE B01403A Due: 8:00 AM, Wed. Sep. 8, 2021</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 何謂駐波 standing wave ? 2. 何謂相速度 phase velocity ? 3. 何謂群速度 group velocity ? 4. 何謂色散 chromatic dispersion ? 5. 紅光和藍光，何者在玻璃中的速度較快 6. 試討論你所知道的 TEM wave。 7. 聲音是電磁波嗎？如果不是，是什麼樣的波？ 	<p>kao@chu.edu.tw</p> <p>Class : EE B01403A Wed. Nov. 22, 2021</p> <p>後，AM 信號可以比</p> <p>。是 AM 還是 FM ?</p>
<ol style="list-style-type: none"> 6. 無線電波和聲波的頻率可以一樣嗎 (20 Hz - 20,000 Hz) ? 7. 兩個電台或電視台可以在同一個載波頻率上廣播嗎？ 8. FM 廣播信號的波長大約是多少？ 9. 你肉眼所能分辨的物體大小，最小大約是多少？這個大小的電磁波波長是何波段？ 10. 傳輸線 (transmission lines) 和電路 (electric circuits) 的差別。 11. 傳輸線 (transmission lines) 和波導管 (waveguides) 的差別。 12. 為何需要阻抗匹配 (impedance matching) ? 	

圖 7 PBL 學習單

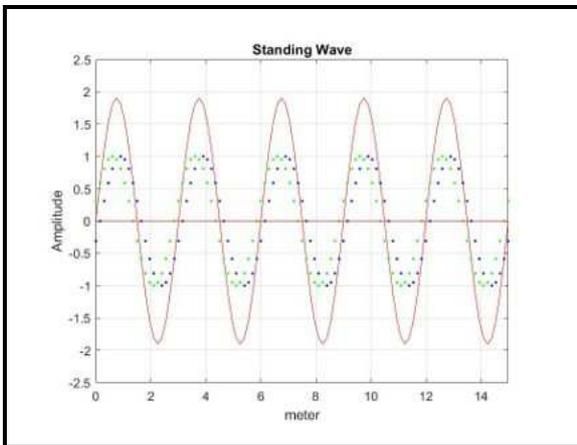
- [8] S. Patil, S. Ramakrishna, H. M. Kelagadi, Priyatamkumar and R. B. Shettar, "Technology Enabled Active Learning for Electromagnetic Waves and Theory," 2018 IEEE Tenth International Conference on Technology for Education (T4E), Chennai, 2018, pp. 225-226.
- [9] D. Raine and S. Symons, "Electromagnetic theory by problem-based learning," *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, June 2005.
- [10] Shaohui Quan, "A problem-based introduction to microwave technology for undergraduates," *International Journal of Electrical Engineering Education*, Oct 2014, Vol. 51 Issue 4, p383-394.
- [11] S. R. Kasjoo, M. N. Mohd Yasin, W. M. Wan Nor Haimi and M. R. Zakaria, "Teaching and Learning on Selected Topics in Electromagnetic Theory Course Using Problem-Based Learning Approach in a Class with a Large Number of Students: A Sharing Experience," *Proceeding of The 1st International Joint Conference Indonesia-Malaysia-Bangladesh-Ireland 2015*, pp1065-1070.
- [12] M. Dawood, Kwong Ng and J. McShannon, "Hybrid of PBL and ACL to enhance student learning in electromagnetic undergraduate courses," *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Charleston, SC, 2009, pp. 1-4.
- [13] eCampus, CHUMoodle 和 IRS 皆為本校教學輔助軟體。



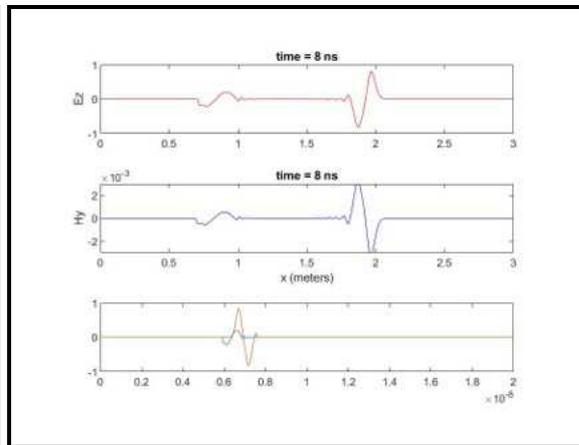
(a) 群速度



(b) 邊界條件，解 Laplace eq.



(c) 駐波。



(d) 行進波

圖 8

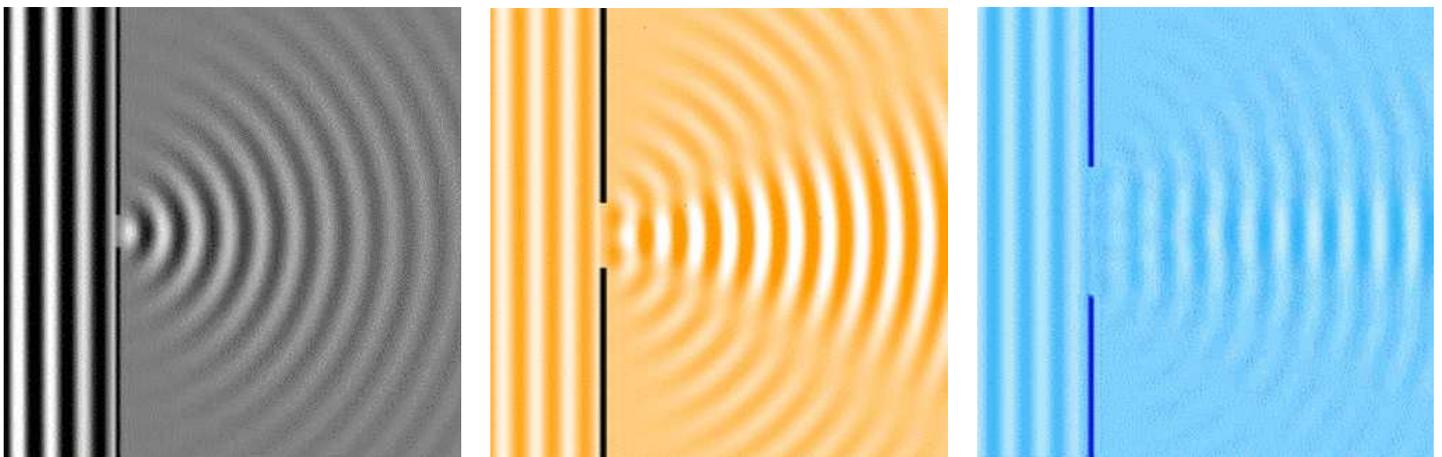


圖 9 狹縫繞射

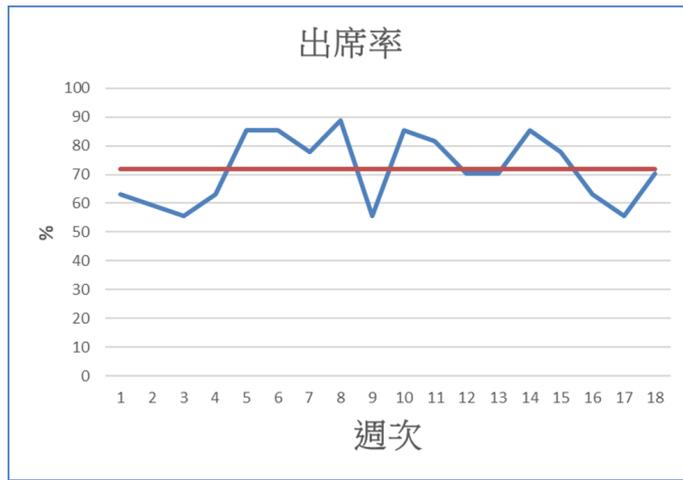


圖 10 出席率

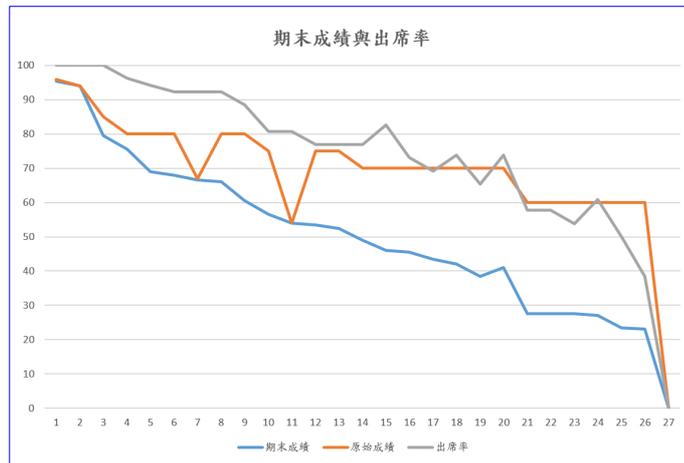


圖 11 期末成績與出席率

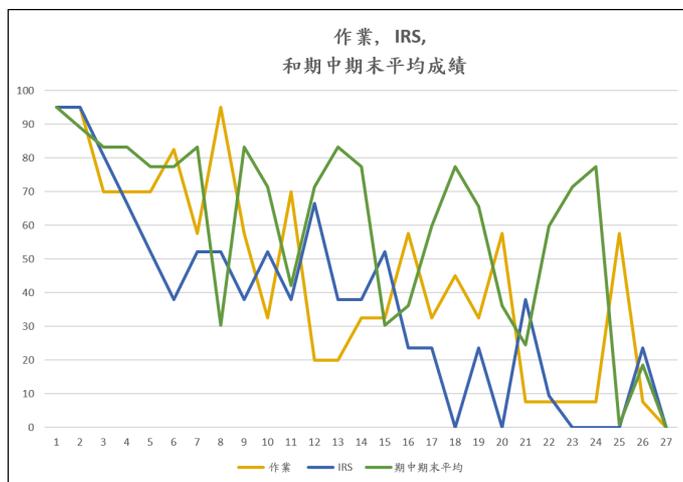


圖 12 作業，隨堂問答小測和期中期末平均成績比較