

50年台大生涯分享

黃秉鈞

2021.1.19



人生中創造力最高的年歲

馬雲錯了！

□新英格蘭醫學雜誌(2018)刊登的論文發現

- 在美國進行的一項大規模研究發現一個人的生產力：

- 最高的年齡是60-70歲
- 第二高是70-80歲
- 第三高是50-60歲

• 上帝設計人生最美好時光為60-80歲！

- 證據

關鍵：有健康身體

- 諾貝爾獎得主的平均年齡 62歲
- 《財富》 500強公司首席執行官(CEO)的平均年齡63歲
- 美國100個最大教堂的牧師平均年齡71歲
- 教皇的平均年齡76歲
- 美國總統川普74歲、拜登78歲....

□NEJM發表的一項研究也發現，在60歲時達到潛力頂峰，並持續到80歲！？

我的個人體驗

- 年過50 腦子像上了潤滑油；
- 過了60歲 腦子好像上了發條；
- 年過70(尚無經驗)“猜想”腦子應該如飛輪 + 千里眼 + 順風耳 + 甚至“第六感”(雖然視茫茫、耳聾聾)

關鍵：身體健康

個人經歷 Personal experience

• 背景 Background

- 台大機械系(1968-1972) [1972發射探空火箭] – 不懂火箭卻發射火箭
- 美國 Case Western Reserve Univ 機械/化工 (1973~1976) – 科學研究

• 科技研發(48年累積12萬“RD小時”) 1973-2021

- 1973~1976(美國): 航太熱流科學、化工輸送現象
 - 是科學家(scientist) 第一篇論文發表於Nature (1976)
- 1976~2021(台大): 能源工程 – 是工程師(engineer) 開發新能源，包含:

(1) 高效能源: 熱泵、噴射式(ejector)製冷、超低溫製冷、熱電半導體製冷/發電、
吸收式製冷、迴路熱管(LHP)、LED照明

[一篇噴射器論文已被引用 645 次, *Int J Refrigeration* 排名第一、被下載 9,967次]

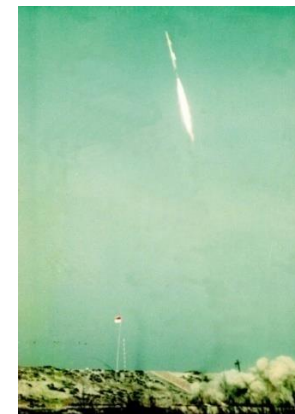
(2) 再生能源: 太陽熱能與太陽光電、微電網、地熱、風力、沼氣、海洋溫差發電 ...

[一篇PV/Thermal論文已被引用539次, *Solar Energy* 排名22、被下載20,640次]

2008獲沙烏地阿拉伯全球研發夥伴獎(GRP Award)450萬美元

• 退休前研究(2017~2021/7/31):

- 低能核反應(LENR) (冷核融合) (2018~) [核能?] - 最具爆炸性的科技
- 大面積鈣鈦礦太陽電池製造 (2017~2020)



六枚火箭的故事

試射火箭完成演練
今日上午一飛冲天

NTU-1型探空火箭設計理論



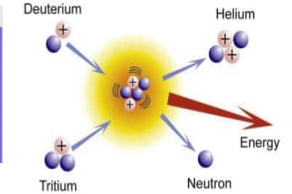
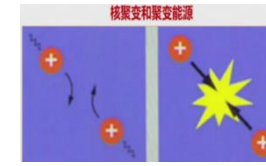
非核家園

核能

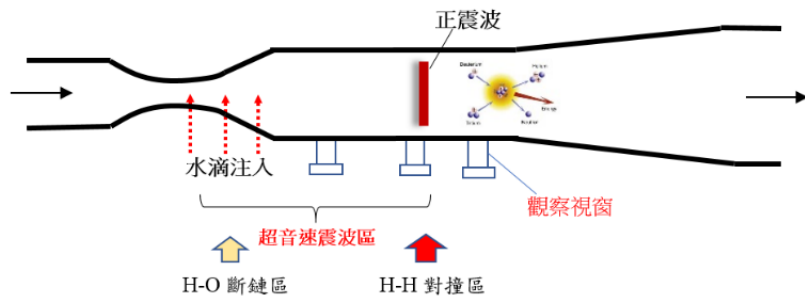
兩段式原子核斷鏈-對撞機構(Ejector)

- 水汽蝕(cavitation)引致核融合/反應(CIF/LENR)關鍵

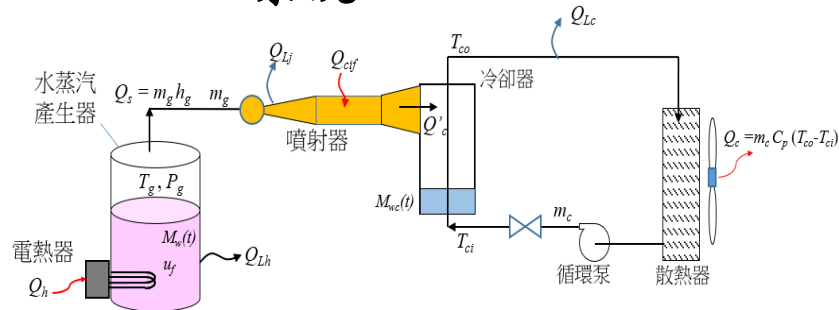
- 需有足夠熱能或機械能打斷水的氫氧鍵，製造氫原子核(等離子體)
- 有足夠高的動能或機率，使兩個斷鏈的氫原子核產生撞擊融合



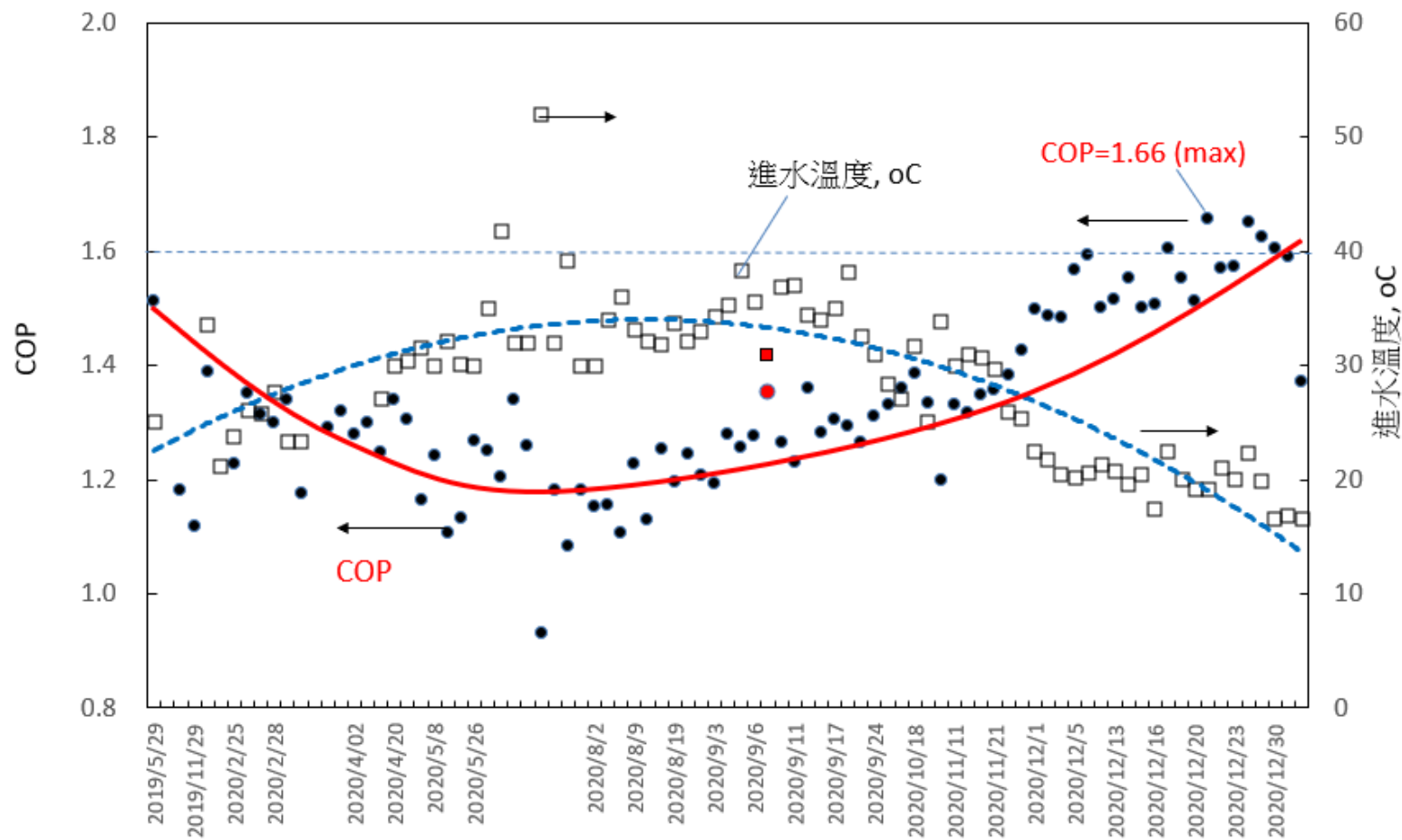
- 噴射器兩段式原子核斷鏈-對撞機構



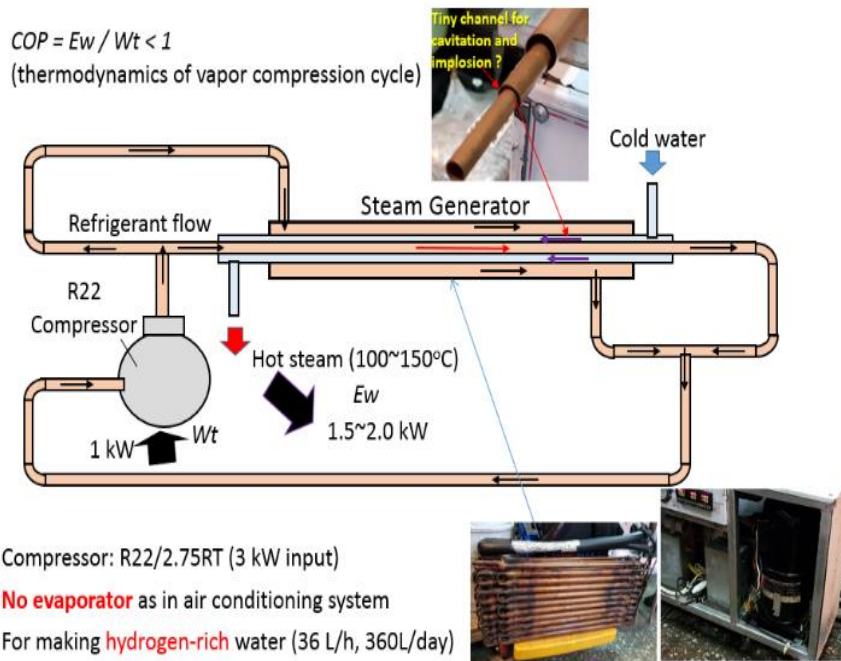
- CIF/LENR系統



三重管機構



$COP = E_w / W_t < 1$
(thermodynamics of vapor compression cycle)



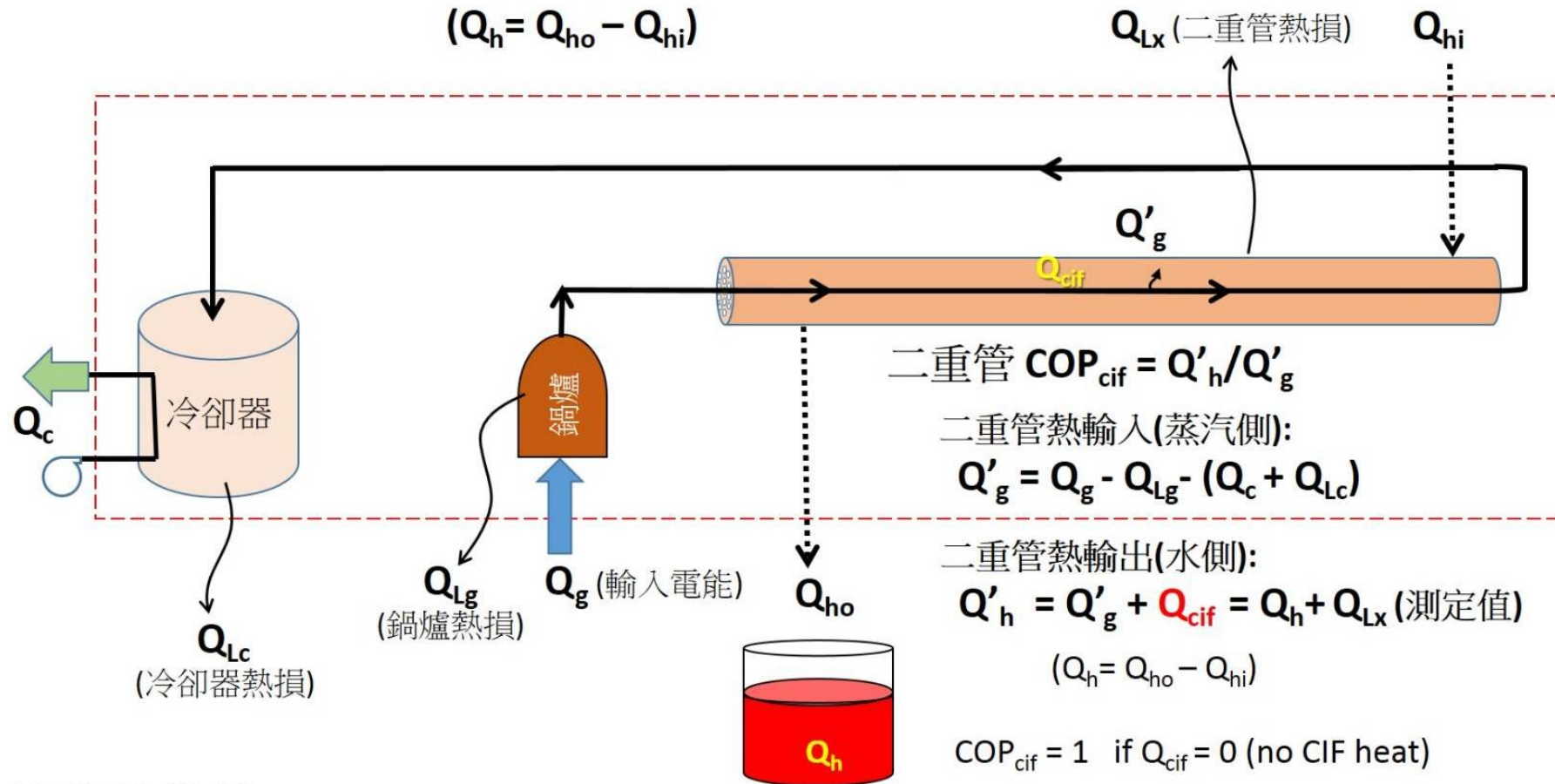
ICCF-22, Assisi, Italy (2019)

二重管機構



系統能量平衡: $Q_g + Q_{cif} = Q_h + (Q_c + Q_{Lc}) + Q_{Lg} + Q_{Lx}$

$$(Q_h = Q_{ho} - Q_{hi})$$



台大冷核融合最新實驗結果 COP=2.55 >1

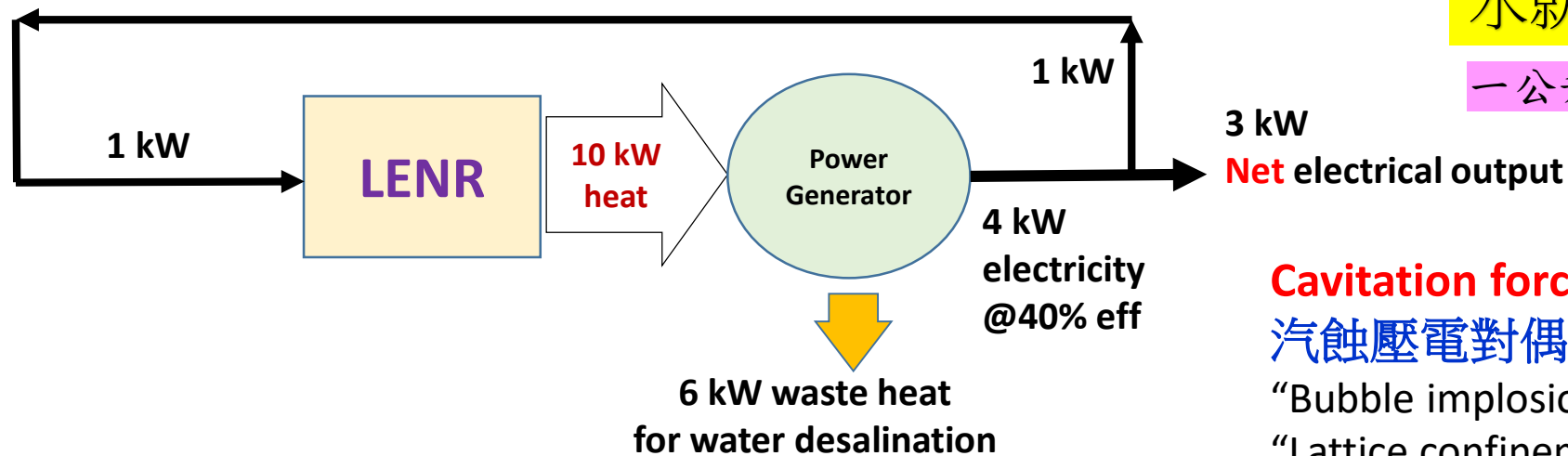
LENR現象已激發 (輸入5kW電能, 輸出13kW熱能)

保溫水初重 Mini		kg	8.9	23.0	7.5	8.8	9.0	21.2	9.1
保溫水末重 Mfin		kg	23.04	37.18	21.49	22.15	21.93	33.66	21.80
加熱桶溫控 Tgset		°C	135	135	135	135	135	135	135
CH0二重管出口溫度 Twe	二重管出水	°C	97.0	90.1	96.8	93.6	95.7	93.2	92.3
CH1二重管入口溫度 Twi	二重管進水	°C	22.0	22.1	23.2	50.5	19.4	20.2	17.8
CH2鍋爐出口蒸氣溫度 Tg	二重管蒸氣入口	°C	131.0	116.7	126.8	114.6	127.3	122.2	112.7
CH3蒸氣進入冷凝桶前溫度 Tc1	二重管蒸氣出口	°C	44.8	39.9	40.3	63.5	26.2	38.4	48.2
二重管LMTD, oC	$=[(Tg-Twe)-(Tc1-Twi)]/\ln[(Tg-Twe)/(Tc1-Twi)]$	°C	28.0	21.9	22.9	16.7	16.1	23.2	25.1
CH4保溫茶桶初水溫 Twini		°C	22.0	87.2	22.5	22.9	19.8	79.0	18.4
CH4保溫茶桶末水溫 Twfin		°C	87.2	98.6	88.9	77.7	79.8	94.5	72.6
二重管入口水內能 Uwini	$Uwini = Cp_w * Twi$	kJ/kg	92.4	92.8	97.4	212.1	81.5	84.8	74.8
保溫水初內能 Ut_ini	$Ut_ini = Cp_w * Twini$	kJ/kg	92.4	366.24	94.5	96.18	83.16	331.8	77.28
保溫水末內能 Ut_fin	$Ut_fin = Cp_w * Twfin$	kJ/kg	366.24	414.12	373.38	326.34	335.16	396.9	304.92
CH0鍋爐出口蒸氣壓力 Pg		kg/cm^2	4.10	3.70	3.74	3.67	2.88	3.66	4.41
冷卻水流量 mc_dot		L/min	5.25	5.23	5.26	5.20	5.21	5.31	5.28
CH6冷卻水出口溫度 Tce		°C	21.2	20.9	20.4	28.2	20.5	17.1	22.7
CH5冷卻水入口溫度 Tci		°C	20.7	20.5	20.1	22.8	20.4	16.6	17.9
冷卻水總散熱量 Ec	$Ec = Ec_dot * tss$	kJ	167	133	100	1787	33	169	1613
電熱器校正加熱量 Egc	Eg 5% OFF	kJ	4297	4292	4361	4287	4251	4303	4322
泵浦總耗電量 Wpump	$Wpump = (15.2 * tp_off + 75 * tp_on) / [1000 * (tp_on + tp_off)] * tss$	kJ	21	24	21	21	21	24	21
保溫茶桶淨集熱量 Eh	$Eh = (Mfin * Ut_fin) - (Mini * Ut_ini) - [(Mfin - Mini) * Uwini]$	kJ	6310	5646	5953	3554	5549	5266	4994
二重管實際換熱量 Egc'	$Egc' = Egc - Ec - EL + ELx$	kJ	3919	3943	4101	2227	3981	3820	2420
COP'1(僅考慮熱收集量)	$COP1' = Eh / Eg \text{ 5\%off}$		1.47	1.32	1.36	0.83	1.31	1.22	1.16
COP2'(考慮熱收集量+冷卻水散熱+其他熱損)	$COP2' = (Eh + Ec) / Eg \text{ 5\%off}$		1.51	1.35	1.39	1.25	1.31	1.26	1.53
COPxc(考慮熱收集量+冷卻水散熱)	$COPxc = (Eh + Ec + EL) / Egc$		1.77	1.61	1.61	1.52	1.51	1.58	1.87
COPcifc(總熱輸出/二重管內受熱量)	$COPcifc = Eh' / Egc' = (Eh + ELx) / (Egc - Ec - EL + ELx)$		1.84	1.66	1.64	2.01	1.55	1.65	2.55
穩態運轉時間 tss		sec	900	900	900	900	900	900	900
保溫水平均質量流率 mw_dot	$mw_dot = (Mfin - Mini) / tss * 60$	kg/min	0.943	0.943	0.933	0.887	0.865	0.830	0.845
穩態數據/實驗日期			11/14		11/27	12/13	2020/12/18(2)	2020/12/19(1)	2020/12/19(2)

能源終極革命 if $COP > 10$ @ $>400^{\circ}C$

水就是燃料 (透過核反應)

一公升海水能量等於300公升汽油

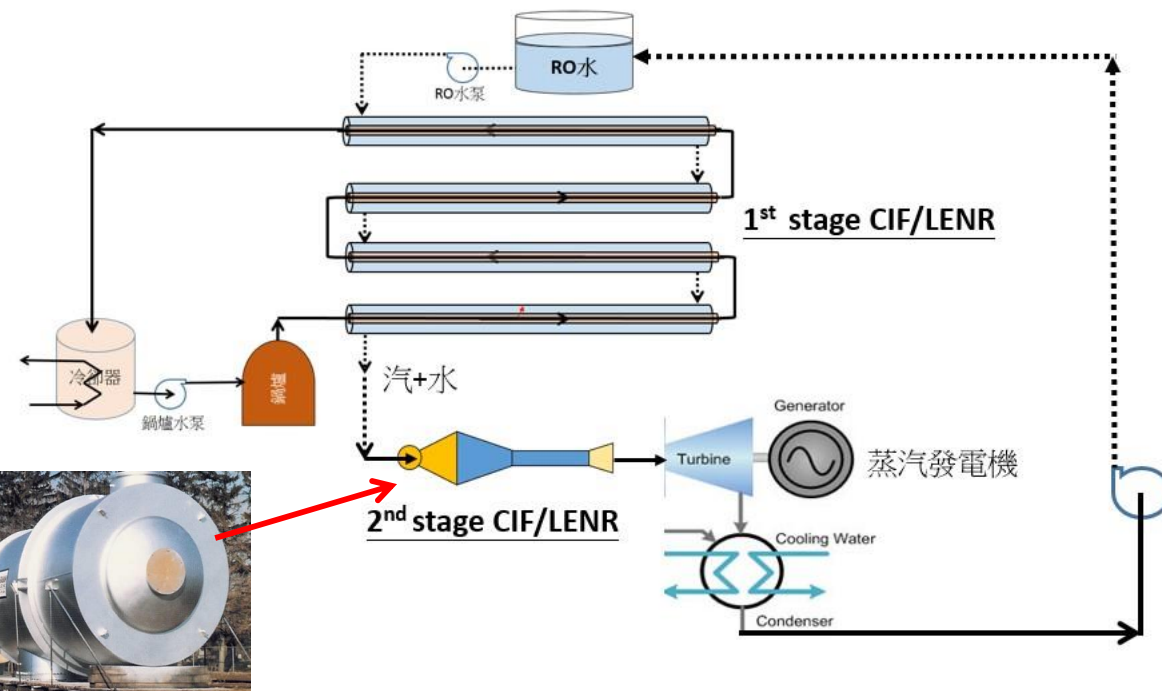


Cavitation force/electric coupling effect
汽蝕壓電對偶效應 + 催化反應 + 奈米作用？
“Bubble implosions” (Nature, 2018/大阪大學)
“Lattice confinement fusion”, Science/NASA, 2020

「人造太陽」
ITER (2035) – 200億Euro



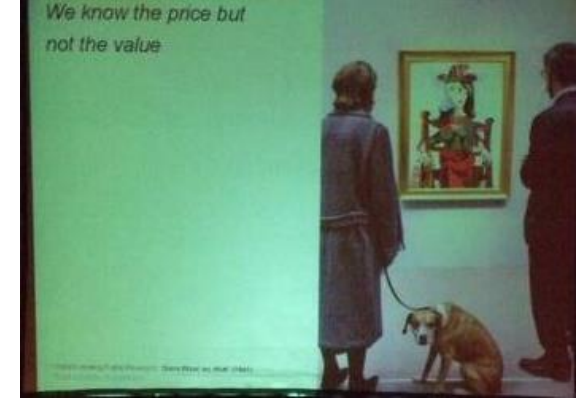
夢想



畢生扮演兩種角色

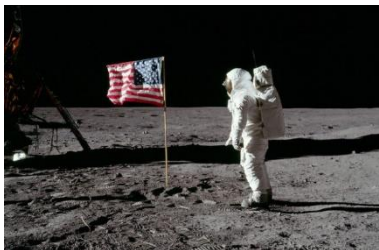
- **科學家**：探索新知識 解釋為什麼(因果)
知其然並知其所以然
- **工程師**：利用已知或一知半解的科學知識 結合觀察(經驗) 解決實務問題創造新產品
知其然不知其所以然

Engineers (工程師) and Scientists (科學家)



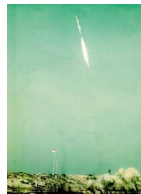
- **Scientists** are that species of animals that knows more and more about less and less, until knowing everything about)
[科學家是一種動物，對大地方一無所知(見樹不見林)，小地方知道的越來越多(鑽牛角尖)、最後仍**無知**(無法回答一連串的Why)]
- **Engineers** are those animals that come to know less and less about more and more, until they know nothing about everything
[工程師是一種動物，對小地方一無所知，對大地方知道的很多、最後仍**無知**(隔行如隔山)]
- 兩者殊途同歸(**無知**)但作用不同
工程師: 利用**一知半解知識**直接創造產品

歷史見證



登月1969

發射火箭



1972/1/20

科學家(美國)



LED照明技術突破



工程師(台大)

50歲

2000

60歲

2010

70歲

2020

RD budget

1.2億

2.4億(70%)

貫穿4個年代: 計算尺與壓力錶年代



Apple II年代

IBM PC年代

2008

網路年代

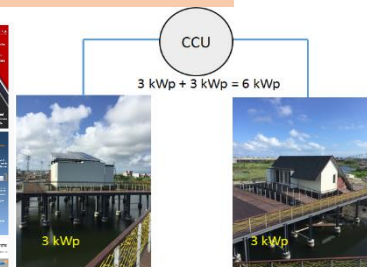
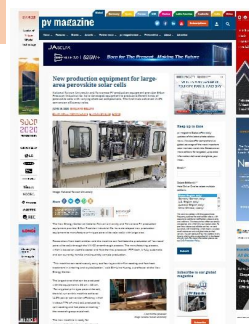
發表第一篇
論文(Nature)

獲烏克蘭科學
技術院士(1996)

獲沙烏地阿拉伯
GRP獎(450萬美元)

金字塔太陽能微電網
鈣鈦礦太陽電池製造
冷核融合

迴路熱管LHP
滿溢式冰水機



KAUST GRP/CID Award (2008-2013)

(King Abdullah University of Science and Technology)

“Solar Building Technology”



Global Research Partnership/CID Award 4.5 M USD (May 27, 2008)

50年台大生涯(求學教學研究)的幾個困惑

- Q1: 誰是科研贏家？
- Q2: 科研該怎麼做？
- Q3: 書本知識有用嗎？
- Q4: 培養科學家、工程師、或工程科學家？

張大帥前瞻眼光(創立東北大學):

培養實用人才
建設新東北
以促成國家現代化

張作霖對部下說：媽了個巴子，就是少養五萬陸軍，這事也非干不可



省思

- 學術成就是一回事，經濟發展是另一回事？

- 科研目的？[學位、升等、升官、發財 ...]

- 誰支付的？

[科學家有社會責任？(飲水思源)]

- 老師角色與責任

- 培養國家需要 能學以致用的學生

[教育是效率很低的行業？]

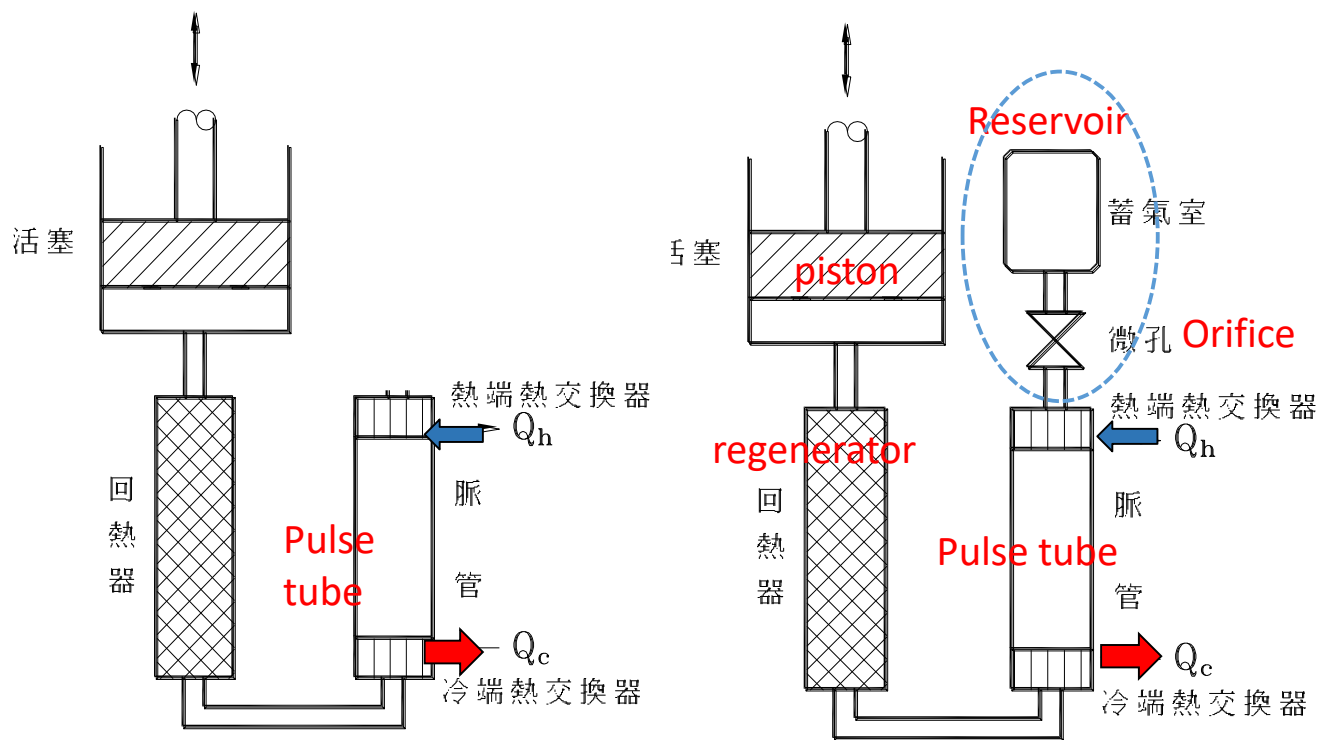
培養實用人才？



第一個困惑：誰是贏家？

• 單進氣脈管制冷器

150K (1964) → 60K (Mikulin, 1984)

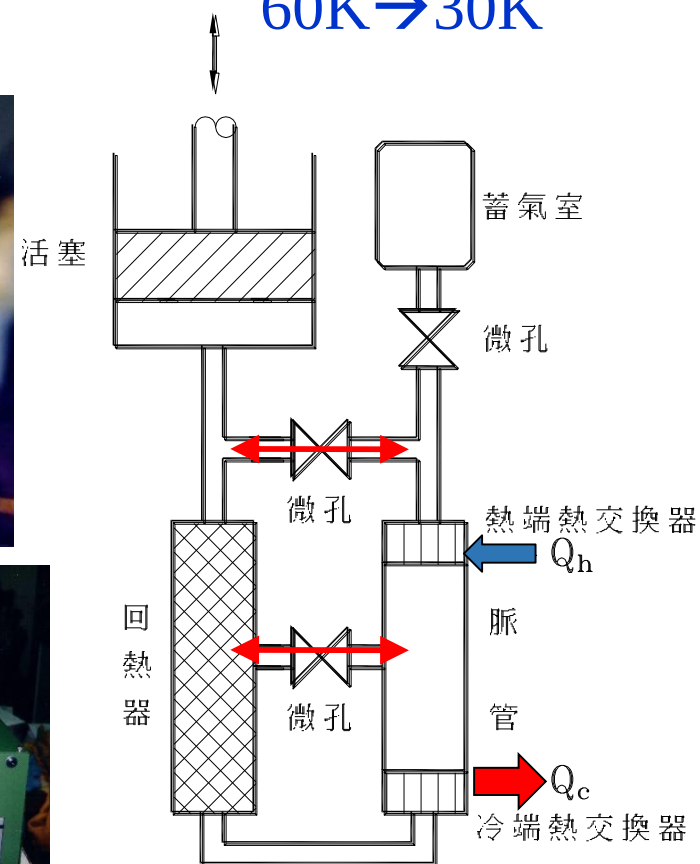
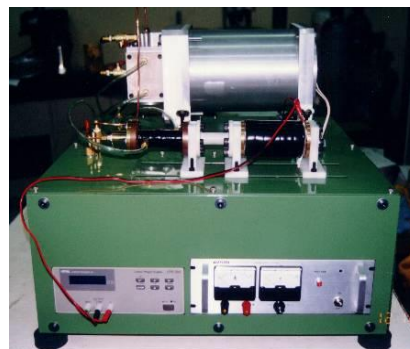
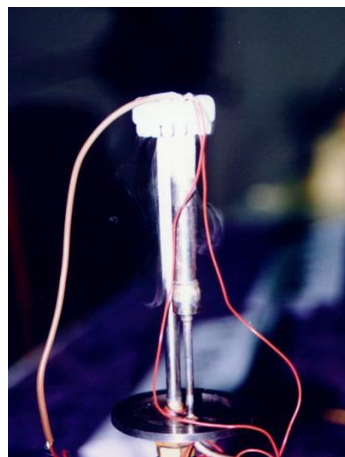


商品化目標: 30K



• 多進氣脈管制冷器 (1990 西安交大吳沛宜)

60K → 30K



• 產品與市場(2000) – Iwatani Aishin



誰是最後贏家？



Iwatani

パルスチューブ冷凍機 Pulse Tube Cryocooler

NEW CryoMini®

ニュークライオミニ

無 振 動 ヘリウムガスの流動で冷却駆動部がなく無振動を実現。

長寿命・高信頼性 コールドヘッド部はメンテナンスフリー。

高 出 力 77Kで2Wのパワーしかも小型・軽量。

Non-vibration
With only helium gas flow and no moving parts, New Cryo Mini is a vibration-free cryocooler.

Long life and high reliability
A maintenance-free cold head features long life and high reliability.

High power output
Though compact and lightweight, New Cryo Mini is powerful with a cooling capacity of 2W / 77K.



e-mail cryomini@mx.biwa.or.jp
URL <http://www.joho-kyoto.or.jp/~cryomini>

第二個困惑

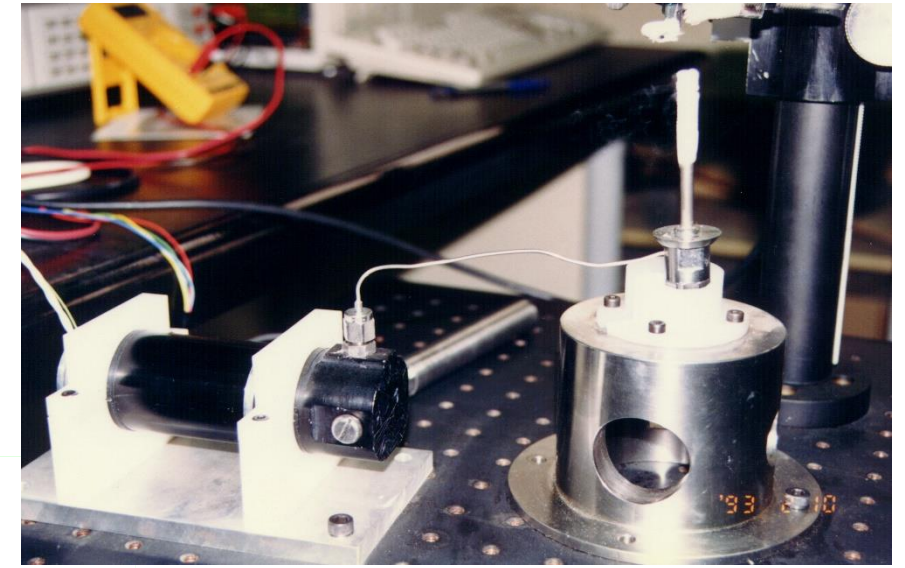
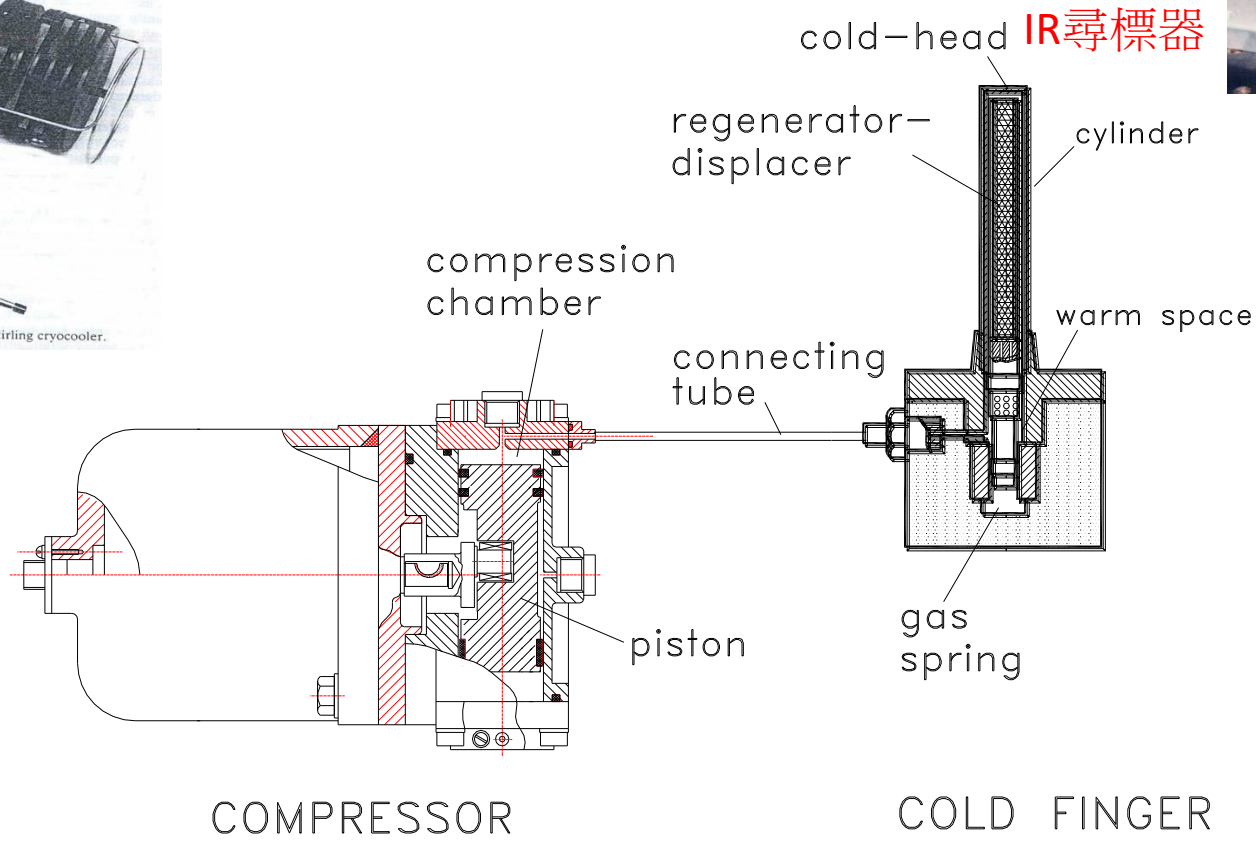
科技研發該怎麼做

超低溫製冷機的故事(40歲時)

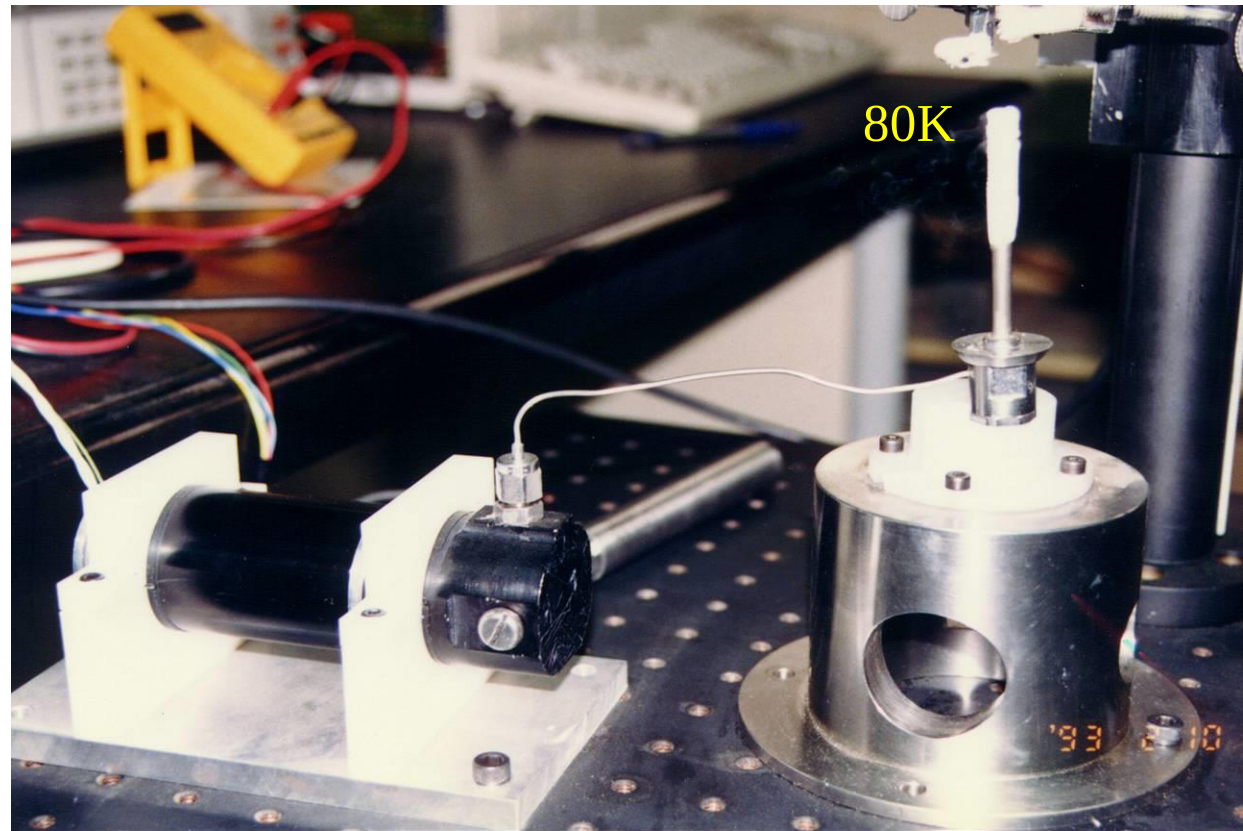
(腦子不夠輪轉)

•分置式史特林冷凍機 (1988-1996)

- 排換器(displacer)為浮動 (由壓縮機引動)
- 冷頭以軟管與壓縮機連接可避震且易安裝
- 回熱器與排換器為一體 (減少體積)



紅外線尋標器冷凍機



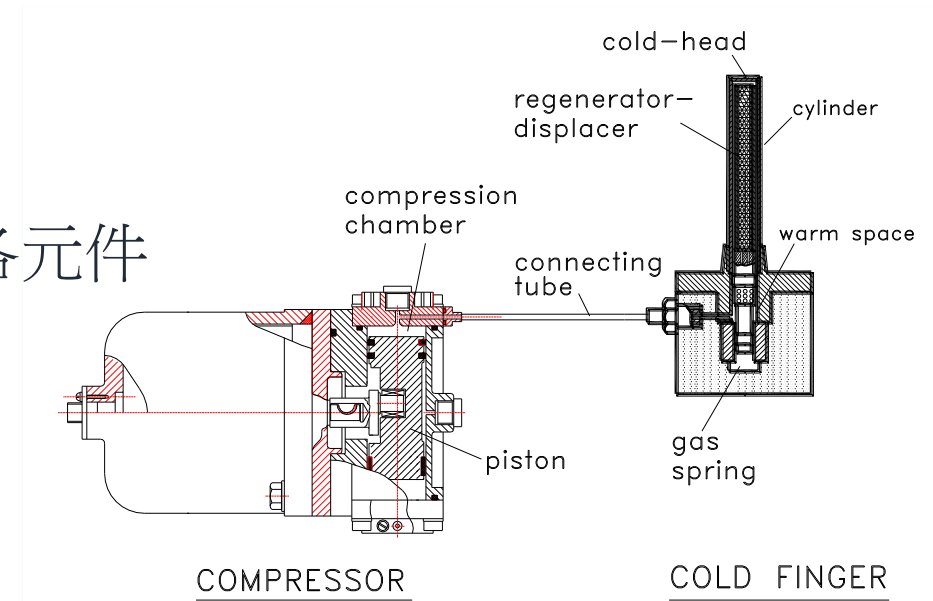
- 傳統設計分析方法

- 熱力分析法
- 熱傳分析法
 - 有限元素
 - 需超級電腦
- 數值不穩問題

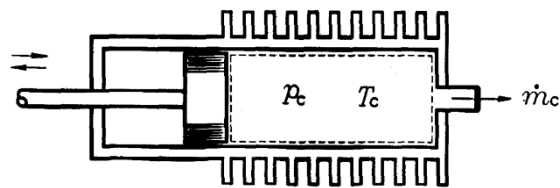
史特林冷凍機之線性網路分析(台大)

• 系統動態學(system dynamics)分析法

- 將冷凍機視為一個動態系統(dynamical system)
- 各元件視為一個次系統(subsystem)
- 系統行為：輸入/輸出 (因果)關係
- 以能量動量質量不滅原理以及線性化處理, 推導各元件之輸入/輸出關係(動態)
- 連結所有元件構成一系統, 構成類比電路
- 運用線性系統理論計算系統內各元件之性能, 求得系統性能

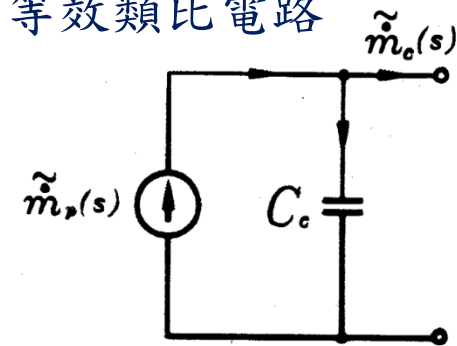


壓縮室動態模式



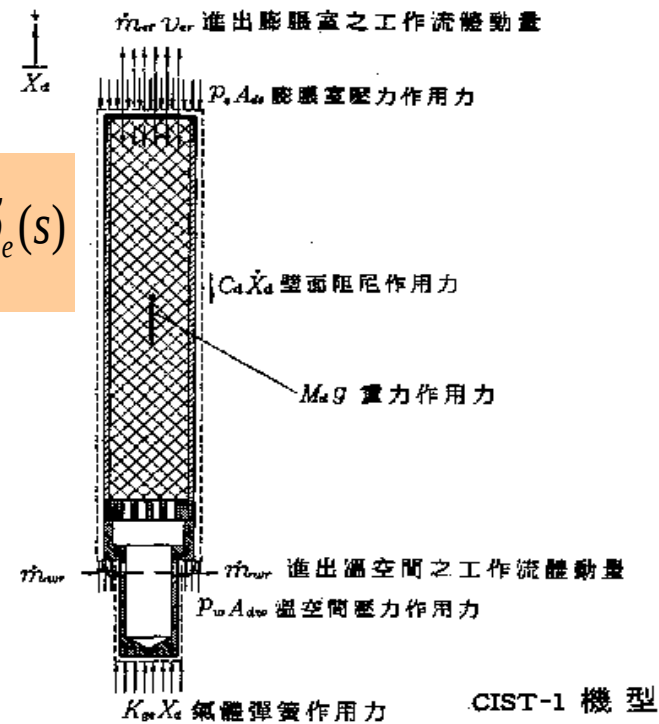
$$\frac{sp_o A_p}{RT_c} \tilde{X}_p(s) = \tilde{m}_p(s) = \frac{sV_{c_o}}{RT_c} \tilde{p}_c(s) + \tilde{m}_c(s)$$

壓縮室等效類比電路

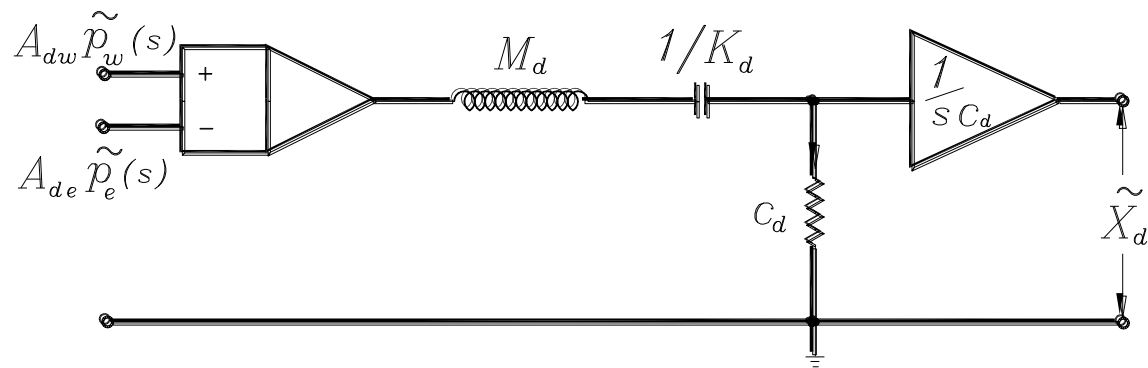


• 排換器動態模式

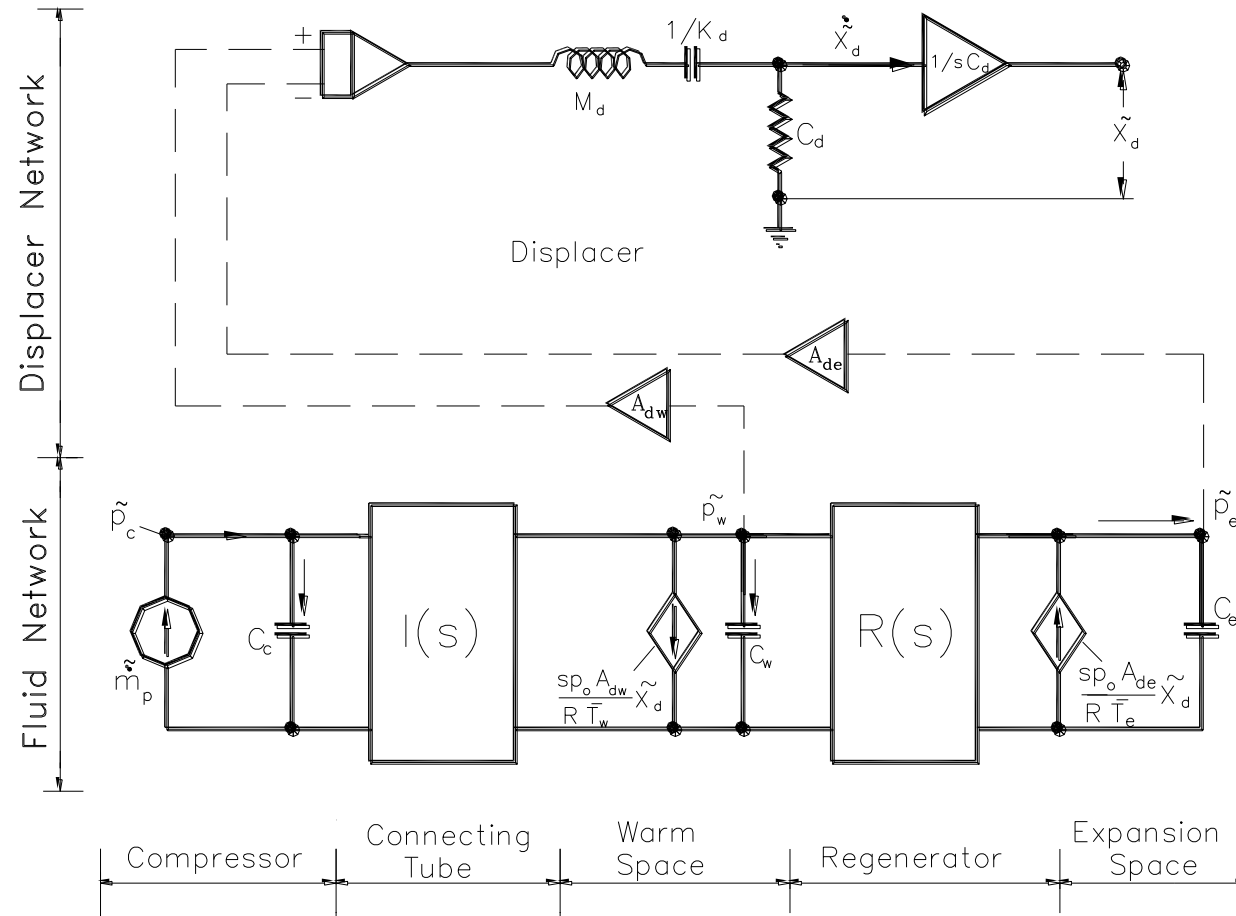
$$\tilde{X}_d(s) = \frac{A_{dw}}{M_d s^2 + C_d s + K_d} \tilde{p}_w(s) - \frac{A_{de}}{M_d s^2 + C_d s + K_d} \tilde{p}_e(s)$$



排換器類比電路圖

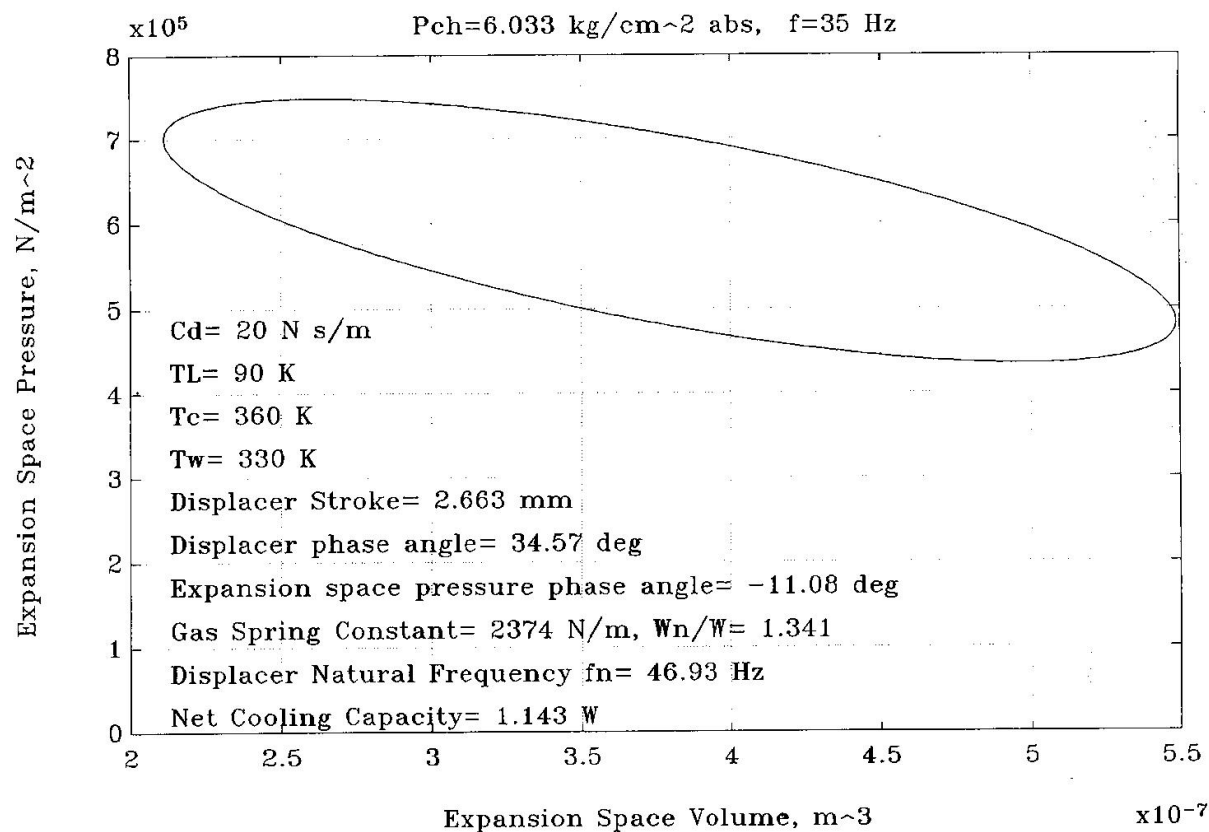


分置式(split)史特林冷凍機系統等效電路

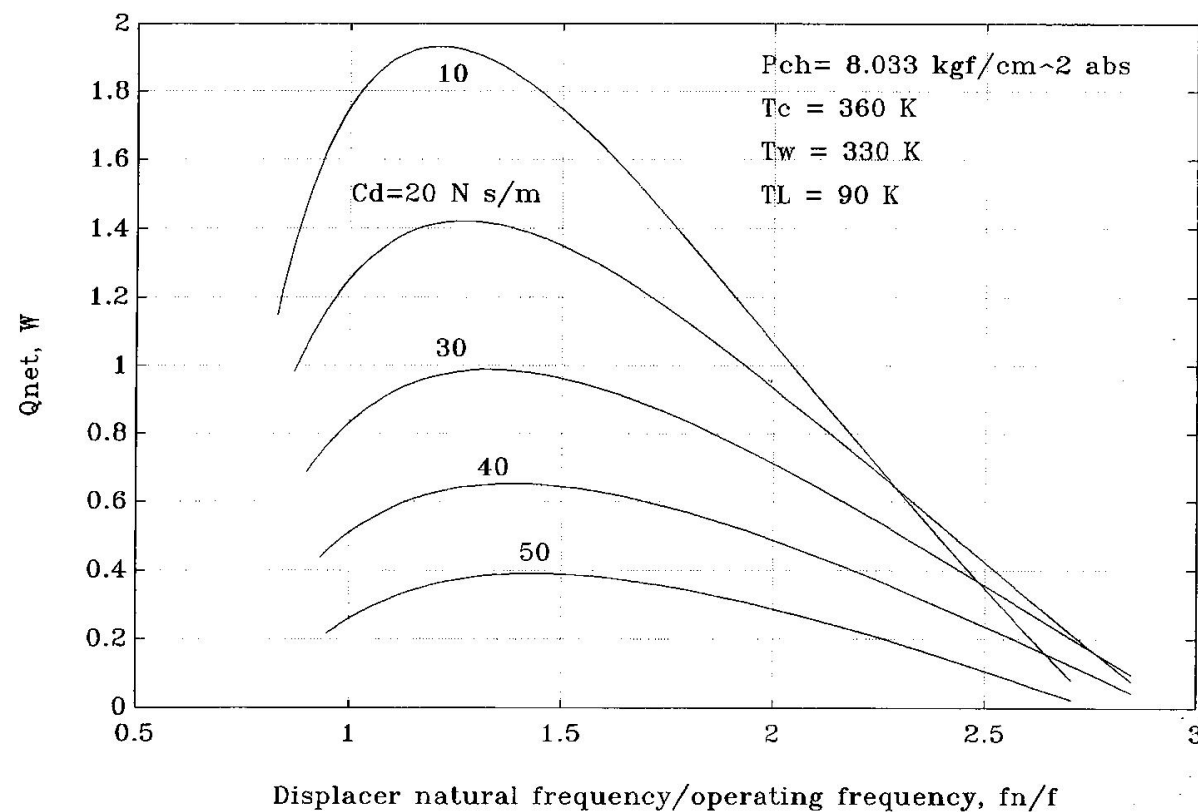


- 系統輸入: 活塞位移
- 系統輸出: 膨脹室壓力
排換器位移

P-V變化 (PC就可運算)

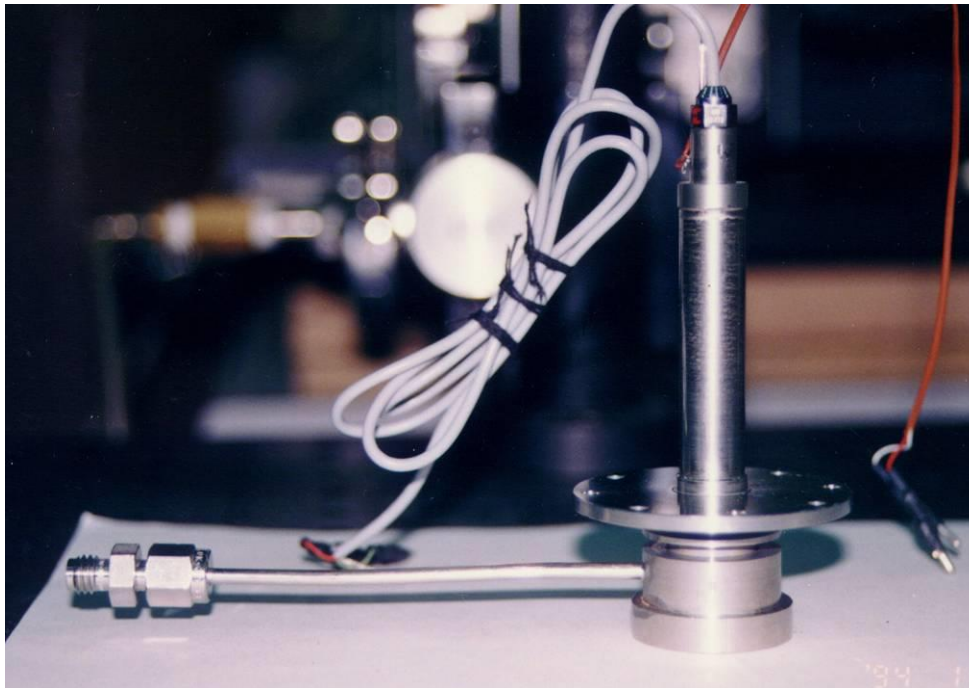


淨製冷量

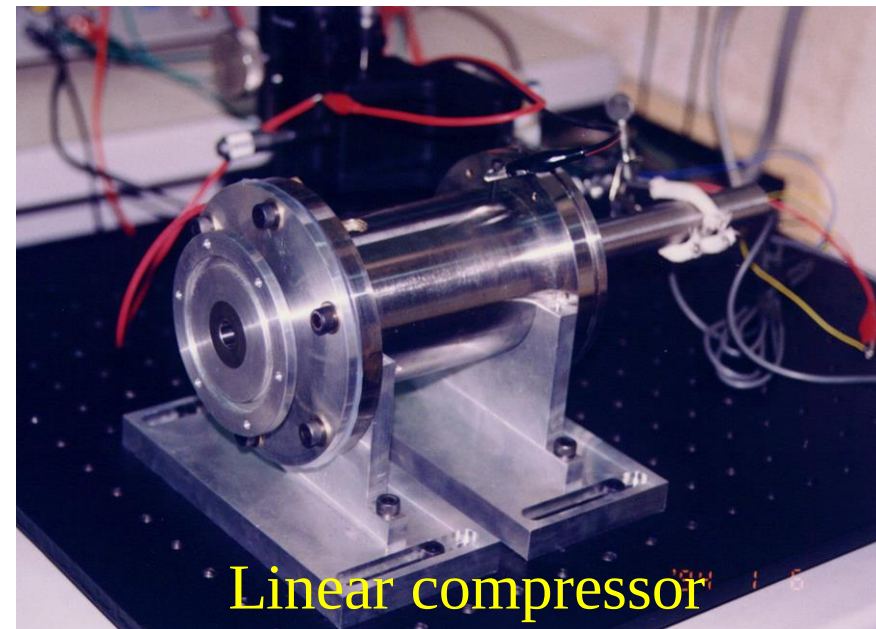


硬體開發

冷頭 (cold head)

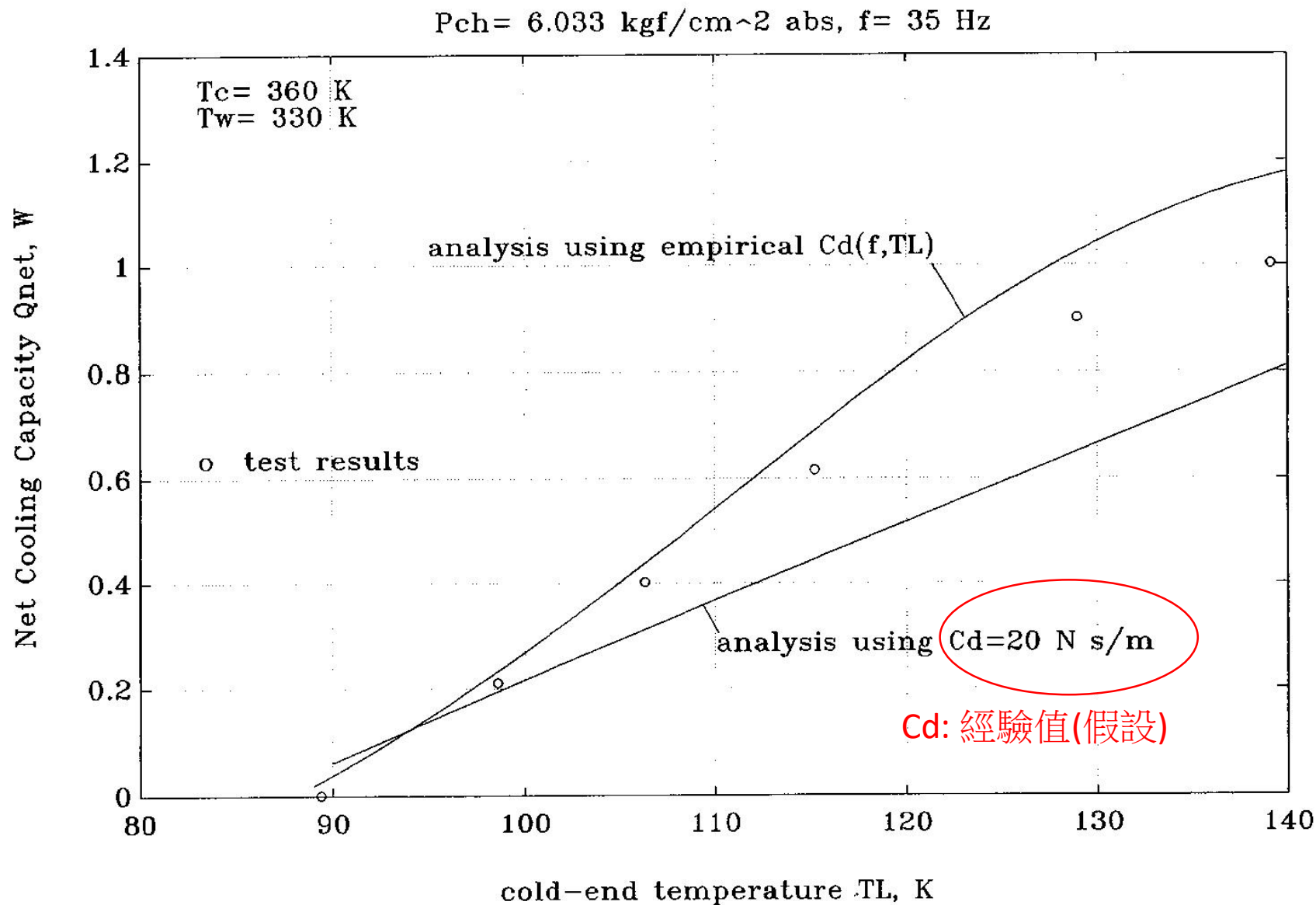


排換器(Displacer)與回熱器



Linear compressor

- 測試結果與分析(湊答案)接近 然後... 又怎樣?



人生勝利組 ??

- 國際會議論文宣讀後，台下靜默無聲
- 拜訪美國Cryodynamics Co 吃閉門糕 (1991)
- 有許多論文 (博碩士論文、期刊論文)
- 我是**工程師?** 還是**科學家?** 成就在哪裡?

Split-type free-displacer Stirling refrigerator design using linear network analysis

Huang B, Lu C

Cryogenics (1996) 36(12) 1005-1017

9

Citations

8

Readers

589

Views

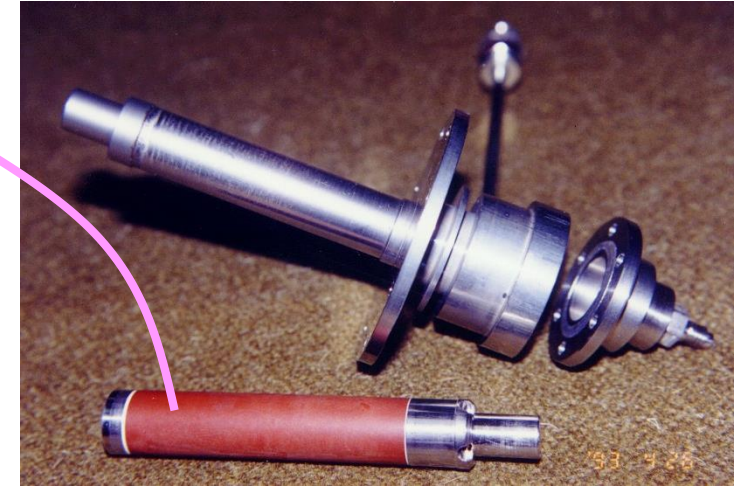
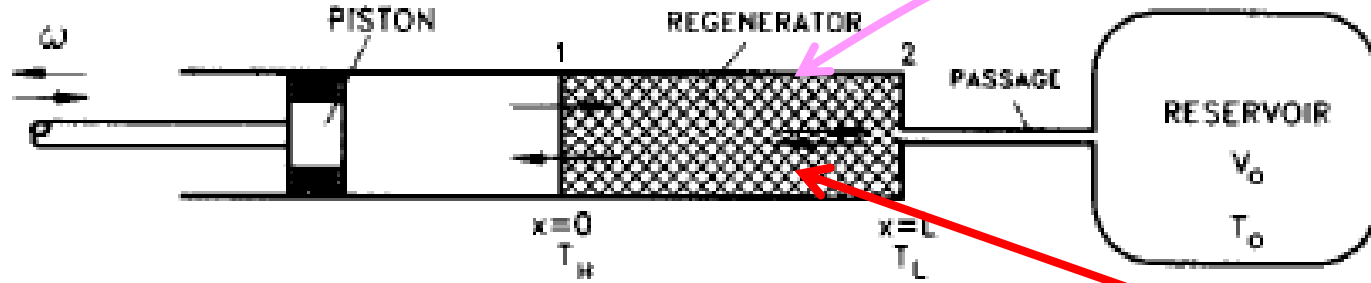
- **Q: 不用線性網路設計分析可以嗎? [把時間花在創新實作與整合]**

Hughes, TWR, Cryodynamics 公司的產品開發並不需複雜分析工具

例：回熱器設計製造(關鍵零件)-儲冷元件

~~$$\frac{1}{RT_i} \frac{\partial \rho(x,t)}{\partial t} + \frac{1}{A_i} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} = 0$$

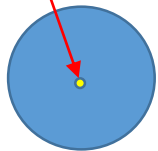
$$\frac{1}{A_i} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} + \frac{k}{A_i} \frac{\partial m(x,t)}{\partial x} = 0$$~~



Dr.Malaker (Cryodynamics) penetration depth半經驗設計法

- 定義熱穿入深度(heat penetration depth)為中心溫度 t_c 上升至初始溫度與流體溫度差的10%

金屬線中心溫度 t_c

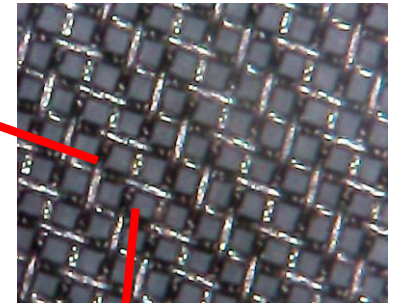


$$\frac{t_c - t_f}{t_i - t_f} = 0.1 = \exp \left[\frac{0.14 - \frac{0.056}{1 + (1/Bi)} - Fo}{0.13 + (0.5/Bi) + 0.04 \exp(-2/Bi)} \right]$$

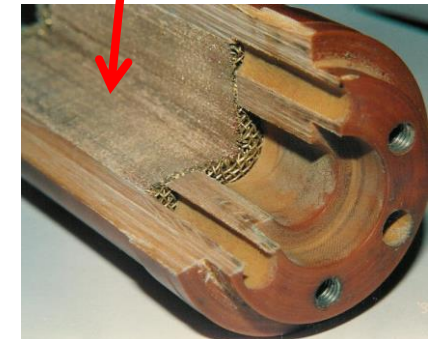
$$Fo(\text{Fourier Number}) = \frac{\alpha \Delta t}{R^2} = \frac{\text{熱傳導速率}}{\text{熱儲存速率}}$$

$$Bi(\text{Biot Number}) = \frac{h R}{k}$$

其中 α 為熱擴散係數，
 R 為金屬網半徑，
 Δt 為熱傳時間(操作頻率 f 之倒數)



金屬網



分析結果

	SUS 316		Phosphor Bronze	
頻率	熱傳係數	對應線徑	熱傳係數	對應線徑
f (Hz)	h ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)	R_o (mm)	h ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)	R_o (mm)
200	5000	0.00581	7000	0.00824
400	6000	0.00349	9000	0.00530
500	7000	0.00326	11000	0.00518
600	9000	0.00349	12000	0.00471
1200	14000	0.00271	20000	0.00392
1800	18000	0.00232	22000	0.00288

找市售金屬網規格

Mesh No.	SUS316 線徑(mm)	Cu 線徑(mm)
100	0.1143	0.1143
140	--	0.108
150	0.06604	--
200	0.05334	0.050
250	0.04064	0.0377
300	0.038	--
400	0.02544	--
500	0.020	--
638	0.018	--

200 mesh SUS316 880片
(d=0.053mm)

~~$$\begin{bmatrix} \tilde{m}_{ro}(s) \\ \tilde{p}_{ro}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh[\Gamma_r(s) \cdot L_r] & -\frac{\sinh[\Gamma_r(s) \cdot L_r]}{Z_{cr}(s)} \\ -Z_{cr}(s) \sinh[\Gamma_r(s) \cdot L_r] & \cosh[\Gamma_r(s) \cdot L_r] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{m}_{ri}(s) \\ \tilde{p}_{ri}(s) \end{bmatrix}$$~~

初步設計結果

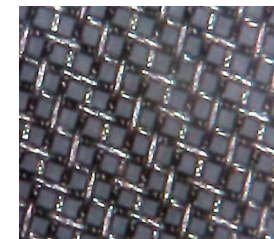
- 計算結果與市售不鏽鋼網與銅網線徑比較

- 在200 Hz操作頻率下:

200 mesh SUS316 880片
(d=0.053mm)

- 不鏽鋼網: 線半徑<0.00581 mm (比市售638 mesh的線直徑0.0180 mm還小);
- 銅網: 線半徑<0.00824 mm (遠比市售250 mesh的0.0377 mm小)

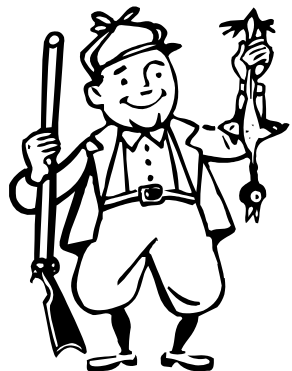
- 需自製?



金屬網

→ 發展“春蟬吐絲”技術 →

- 將融熔狀態銅合金或不鏽鋼，直接噴絲冷卻於回熱器容器中再壓實 (替代金屬網製程)

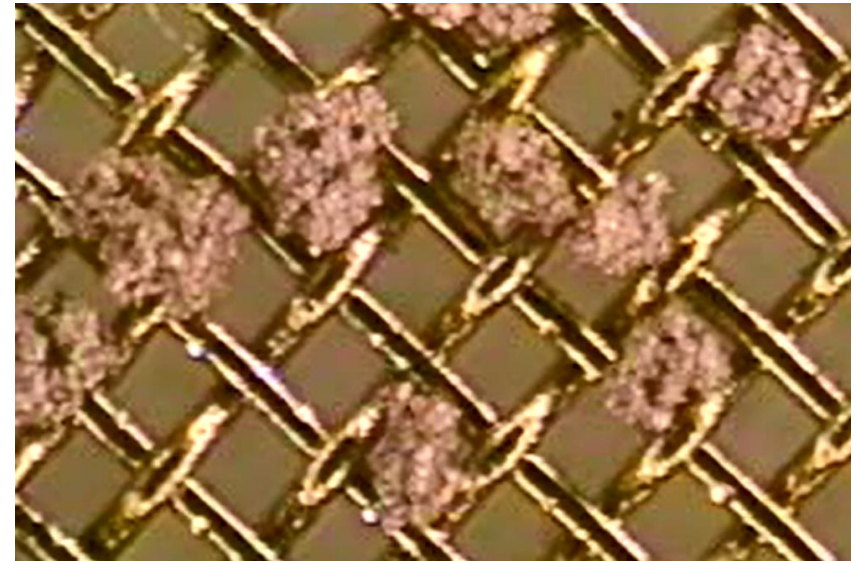
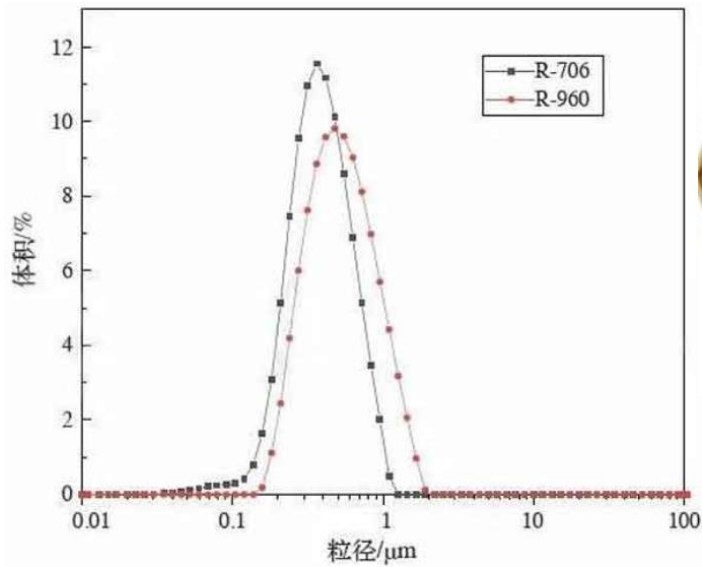


售價 > 3萬美元/具

如果重來一遍(@70歲) 會怎麼做?

- “抄襲”Dr.Malaker的penetration depth半經驗設計
- 不用金屬網與“春蟬吐絲”技術(仍然很貴)
- 開發粉粒技術(powder technology)
 - 開發等粒徑粉粒(如原子筆鋼珠)量產技術
 - 充填金屬粉粒加壓成形

$$\frac{1}{RT_i} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} + \frac{1}{A_i} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} = 0$$
$$\frac{1}{A_i} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} + \frac{\kappa}{A_i} \dot{m}(x,t) = 0$$

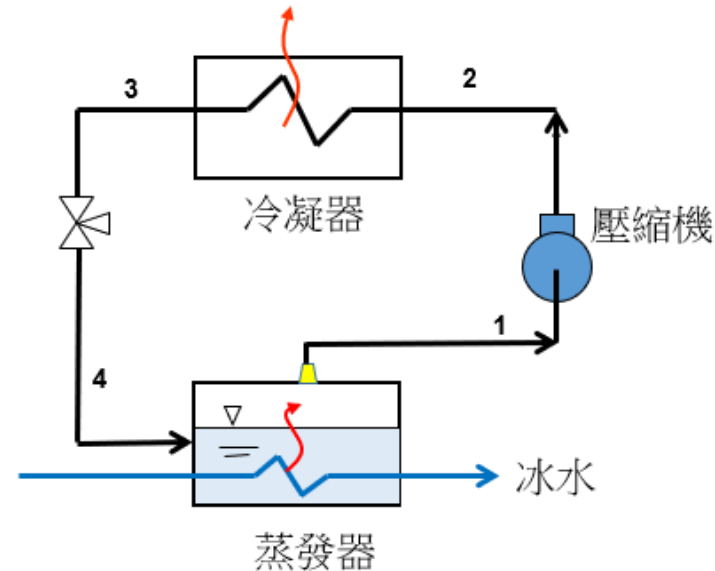
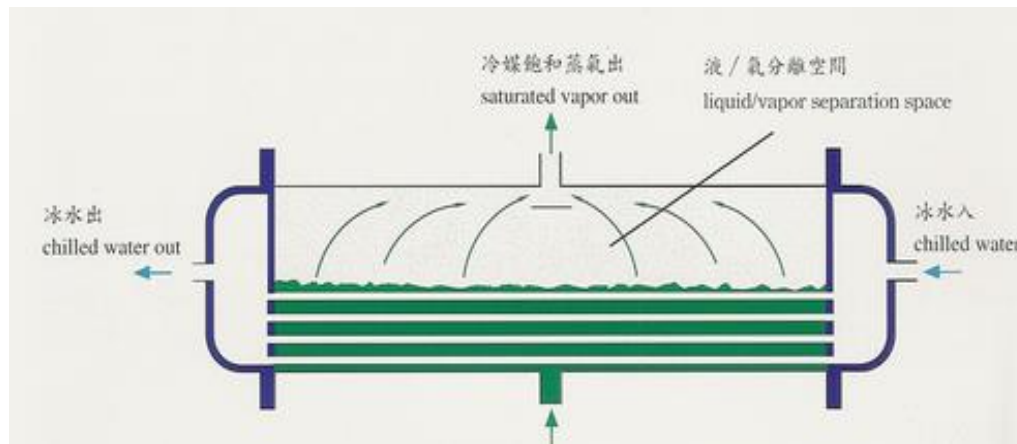


@50歲(腦子上了潤滑油)

滿溢式冰水機的故事(2000)

用一知半解的知識開發產品

(6個月完成產品開發上市)



關鍵技術：回油噴射泵(jet pump)

- 氣+液+油噴射器

- 兩相冷媒+油(可壓縮流)

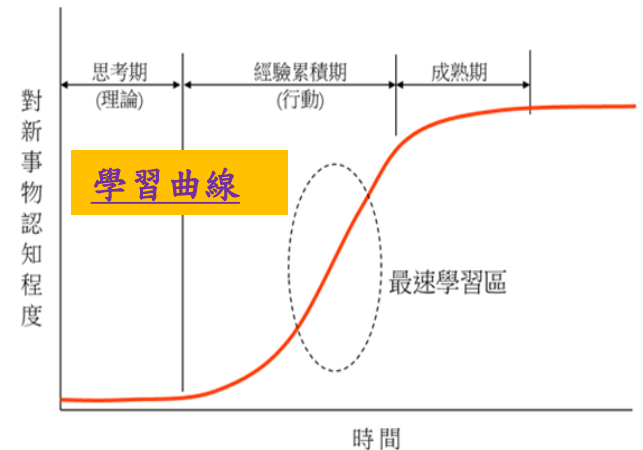
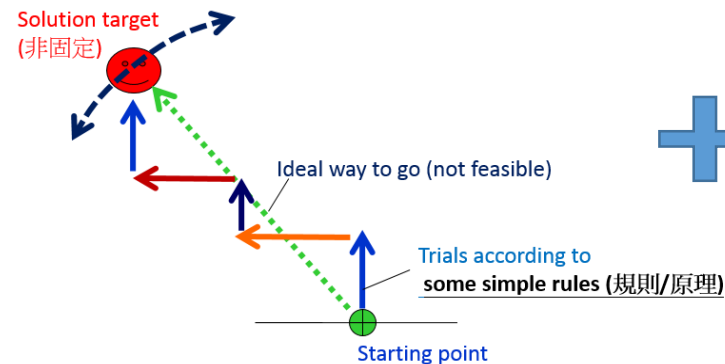
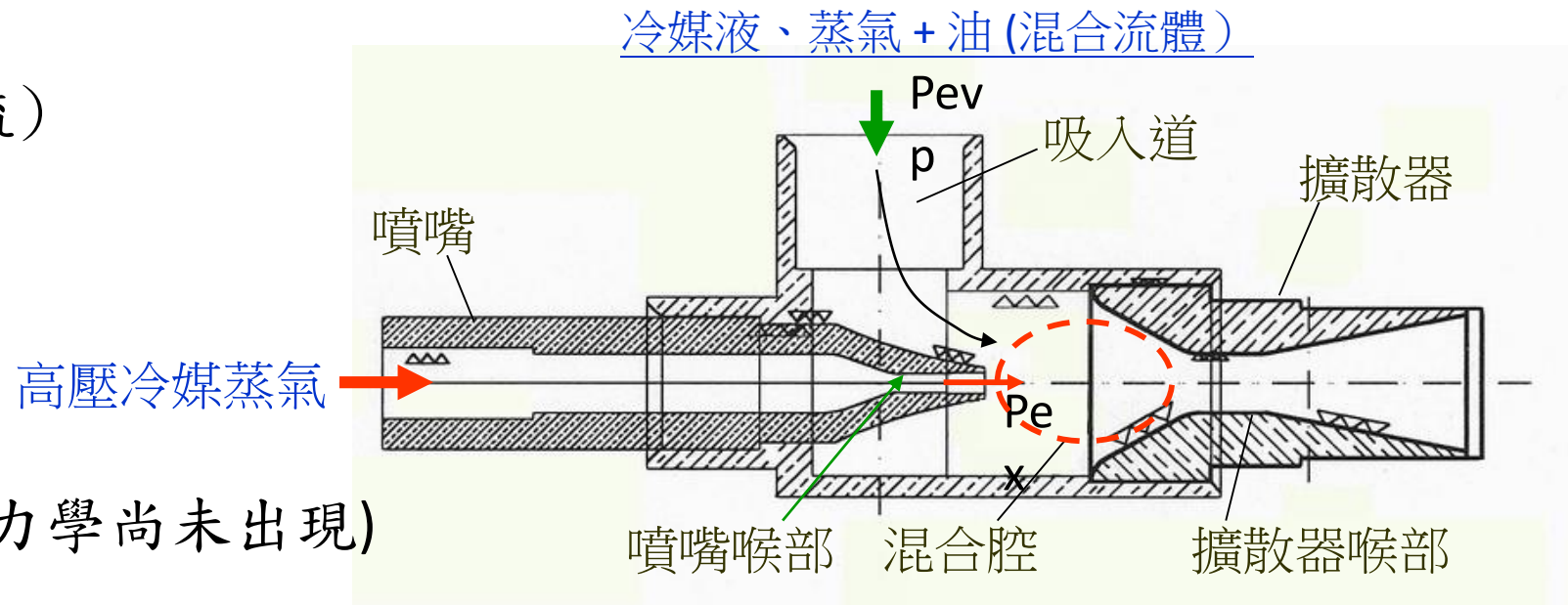
- 設計公式？

- 找不到, 不準

- 怎麼辦？

- 噴射器100年前發明(流體力學尚未出現)

- 學老祖宗作法



• 噴射泵設計核心知識:理想壓縮流理論(書本知識)

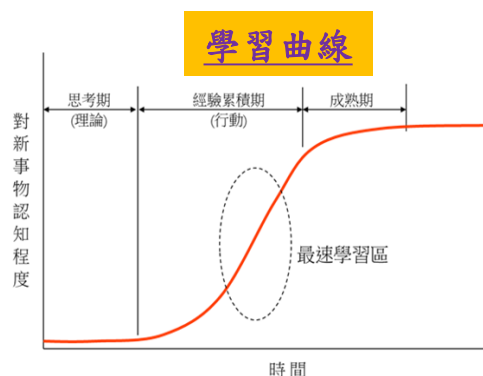
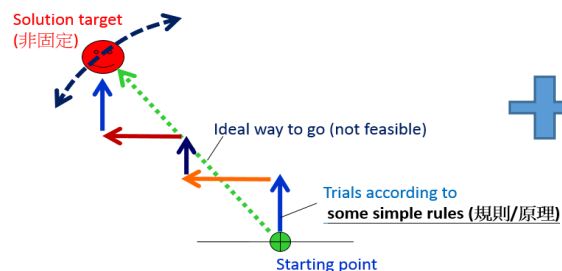
➤ 抽吸條件分析

擴散器收縮角 α° (經驗)

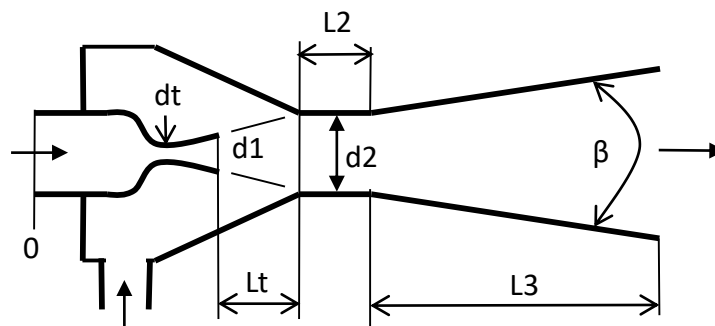
擴散器擴散角 $\beta = \alpha^\circ$ (經驗)

噴嘴擴散角 α° (經驗)

- $d_t = ? \rightarrow$ 試誤法
➤ 2.5mm 開始試 (3.0, 2.0 ... etc)
- $L_t = ? \rightarrow$ 試誤法
➤ 14mm 開始試 (16, 12 ... etc)



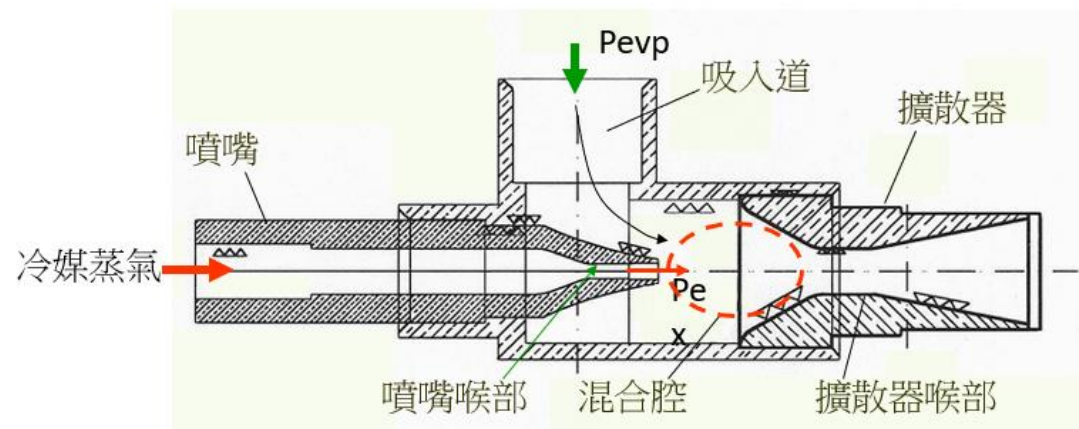
書本知識(氣體壓縮流) $\frac{P_o}{P_{ex}} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{ex}^2\right)^{k/(k-1)}$



$$\left(\frac{A_{ex}}{A_t}\right)^2 \approx \frac{1}{M_{ex}^2} \left[\frac{2}{k+1} \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{ex}^2\right) \right]^{\frac{k+1}{k-1}}$$

Choking flow rate $m_{\max} = \frac{A_t P_o}{\sqrt{RT_o}} \left[k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]^{1/2}$

冷媒液、蒸氣 + 油 (混合流體)



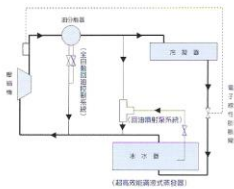
滿溢式冰水機產品 (120-500RT)

TECO

東元滿液式冰水機

- 產品特點**
- 滿載、部份負載效率皆提高
 - 有效解決液態回流問題
 - 有效解決失油跳機問題
 - 中文人機操作介面

產品特點系統圖專利系統說明



回油噴射泵系統 (專利申請號碼93131975)
無可動件，特殊專利設計，利用高壓氣態冷媒經過噴射泵前段縮管設計達到超音速的效果，產生局部低壓導引富油冷媒被抽送回壓縮機，操作性能優越可靠。

全自動回油控制系統 (專利申請號碼94141164)
隨時精密偵測壓縮機的油位，適時自動強制供油回壓縮機，確保永不失油。

超高效能滿液式蒸發器 (專利申請號碼94139206)
精密熱流分析，流道分布均勻，提升效率30%。

電子線性膨脹閥
電子線性膨脹閥可確保負載變化調劑一次到位，運轉穩定性極高，全載或部份負載均隨時發揮最佳性能。

堅持品質的專業服務

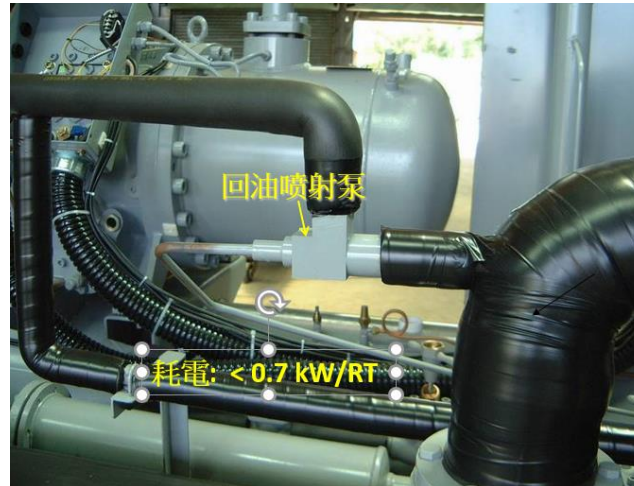
東元空調冷凍製品全國營業區所

空調事業部：台北市南港區國園街3-1號10樓
(02)66159111
台北營業部：台北市南港區國園街3-1號10樓
(02)66159111
空調冷凍服務部：台北縣新莊市思源路34號
(02)22983687
花蓮營業部：花蓮市美工路56號
(03)8226175
台東營業部：台東市正氣北路369-1號
(089)318446
蘭陽營業部：宜蘭縣五結鄉五洲路一段233號
(03)9907000

中壢營業部：中壢市新生路800號
(03)4626168
新竹營業部：新竹市中華路四段402號
(03) 5396493
台中營業部：台中市工業區廿三路26號
(04)23592696
嘉義營業部：嘉義市八德路292號
(05) 2324414
台南營業部：台南市安平工業區新平路2號
(06) 2650191
高雄營業部：高雄縣仁武鄉義仁路397號
(07) 3741306
屏東營業部：屏東市建南南路9號
(08) 7553240

● 關鍵技術

- 噴射泵回油技術
- 滿溢式蒸發器技術



善用學習曲線



書本知識有用嗎？



- 成功進入市場(2000): 上中下游整合研發的範例 [無縫接軌]



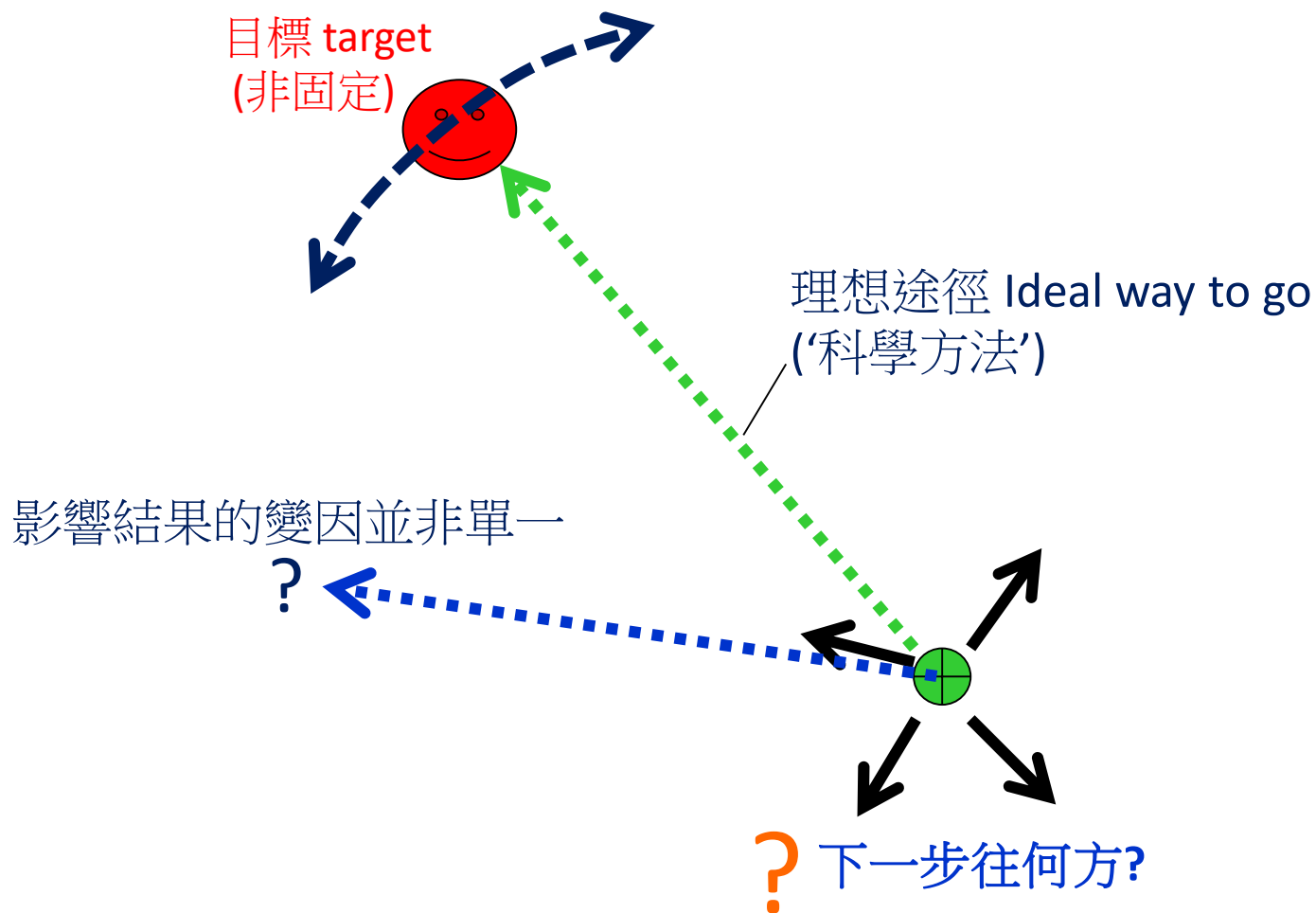
@60歲

第三個困惑：

書本知識有用嗎？

- 與科研方法有關

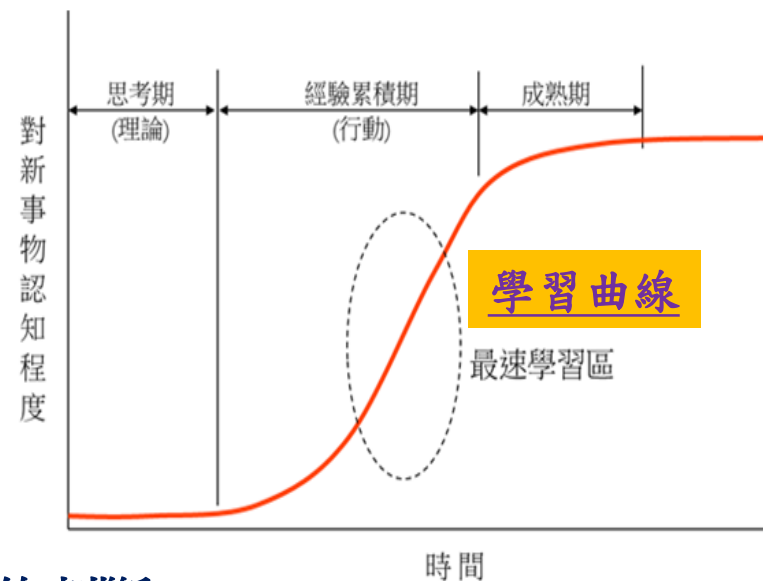
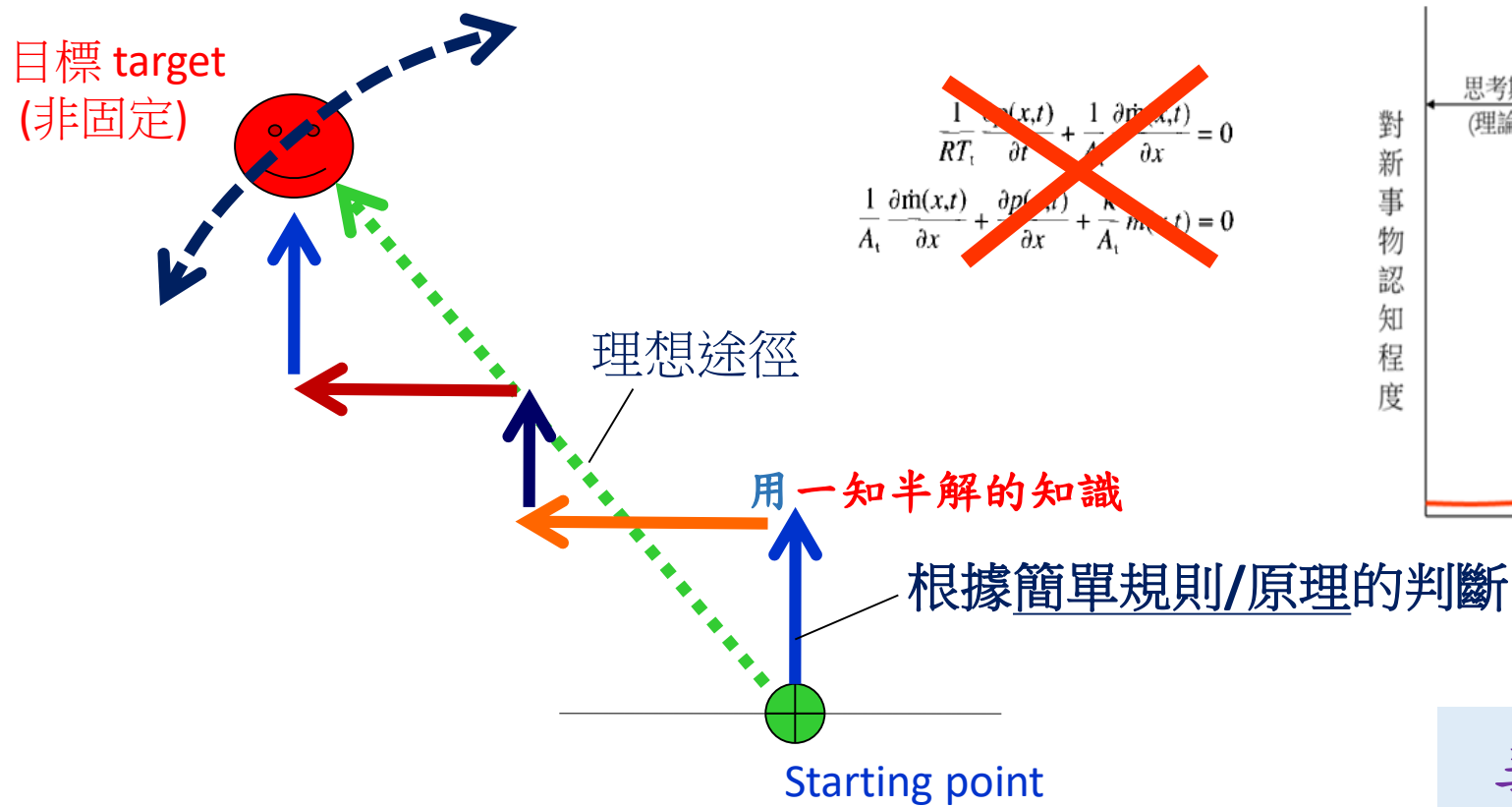
1. 精準科學分析(科學法)



$$\frac{1}{RT_1} \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} + \frac{1}{A_1} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{A_1} \frac{\partial \dot{m}(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} + \frac{\kappa}{A_1} \dot{m}(x,t) = 0$$

2. 嘗試與錯誤(工藝法)(學習曲線)



善用學習曲線

只需一知半解的知識

- 什麼叫簡單規則？[有規則可循]
 - 依據簡單原理(基本知識)或簡單實驗指引下一步(上或下)

簡單算術就夠了！

例: 設計10W LED燈的散熱器(不用風扇)

- 熱傳學原理: $Q=hA(T_b-T_a)$
- 簡單熱傳規則:
 - 自然對流熱傳係數 $h \sim 3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (平板)
 - LED容許溫度 $T_b = 60^\circ\text{C}$
 - 散熱器面積(最小)

$$A = Q/h(T_b-T_a) = 10/3(60-25) = 0.10\text{m}^2$$

(約A4大小: $0.2\text{m} \times 0.3\text{m} \times 2 \text{ sides} = 0.12\text{m}^2$)

→ 散熱面積不能小於 0.12m^2 (無風狀態) ← 從這裡開始"猜"

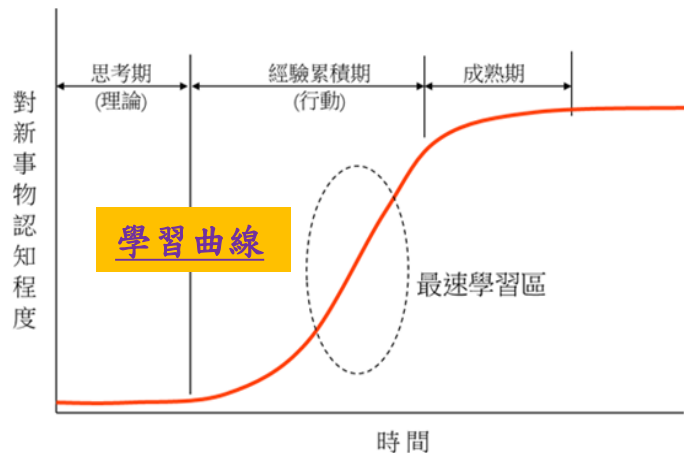
不準度/誤差問題?

- 當作工程設計安全係數

人類科技發展的歷史軌跡

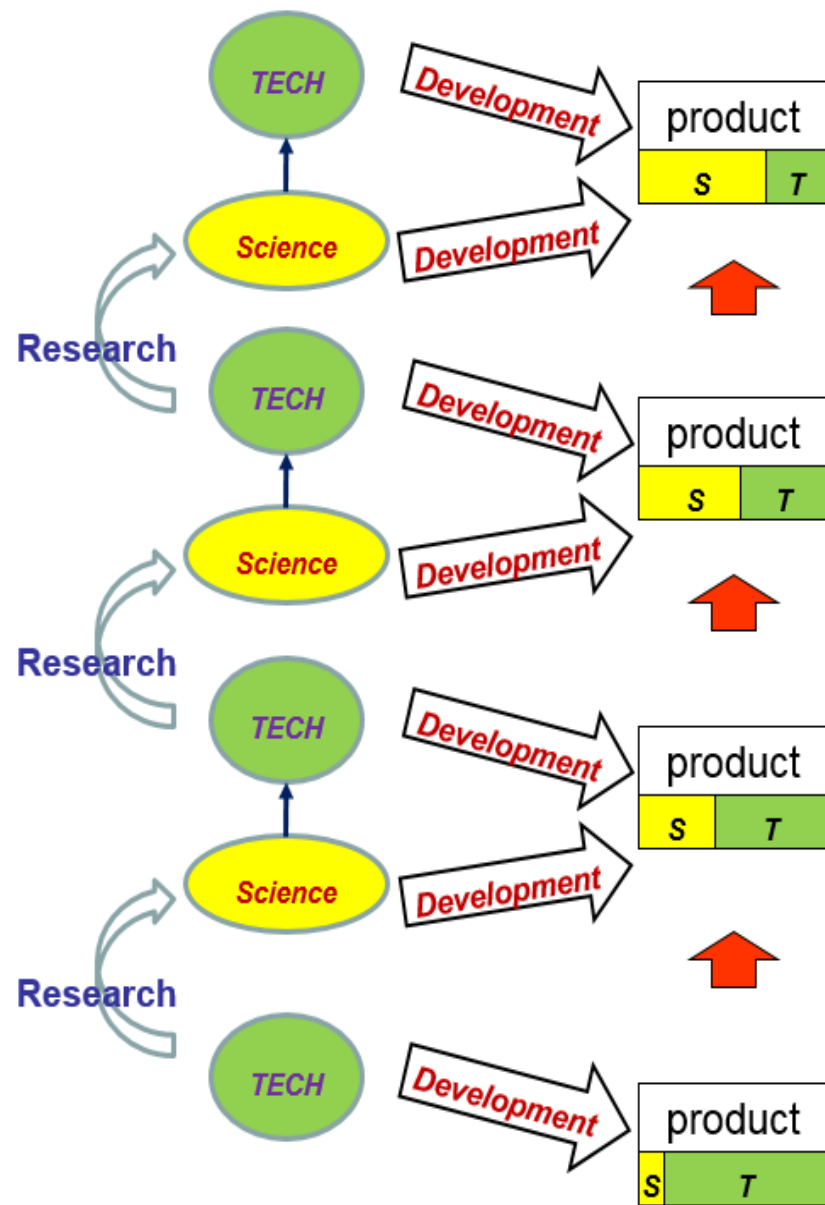
- 先工藝後科學
- 科學(Science)與技術(Technology)相輔相成，由工藝領頭
- 產品所含的科學與技術成分隨科技進步而改變

■ 兩千年前並沒有材料科學，今天博物館裡典藏的各式各樣精美的陶瓷與銅器又是如何製造出來的？



善用學習曲線

只需一知半解的知識



所以… @60歲以後

- 腦子如上了發條
- 解決問題的數學工具：只剩加減乘除算術
- 運氣(猜中機率)越來越好 – 還有點“第六感”
- 鈣鈦礦電池薄膜塗佈與快速長晶

Multiple Slot-die Coater with IR Rapid Thermal Processing (MK-20)

Slot-die coater for width up to 400 or 800mm

Multiple coaters for multiple thin-film coating

RTP to heat surface up to 300°C in 10 seconds

Design for your need in multi-layer thin-film coating and heat treatment in a single machine.
Suitable for perovskite solar cell or the alike.

under the support of Ministry of Science and Technology, Taiwan
E-SUN Precision Co. Ltd. Taiwan

No. 20-13, Jhen bei N. Lane, Jhen bei Village, Fongshan Dist. Kaohsiung City 830, Taiwan
Tel: +886 7-7314748 Fax: +886 7-7315500
www.esunsys.com.tw eliot@esunsys.com.tw

pv magazine

JA SOLAR

New production equipment for large-area perovskite solar cells

Researcher from Tsinghua University and Tsinghua P1 production equipment provider E-Sun Precision Industrial Co. have developed equipment to produce 60cm x 60cm perovskite solar cells with varying chemical compositions. The facilities achieved 15.8% conversion efficiency rates.

Design: National Taiwan University

The Tsinghua Center for Materials Science and Technology (CMST) and Tsinghua P1 production equipment provider E-Sun Precision Industrial Co. have developed new production equipment to manufacture large-area perovskite solar cells with large area.

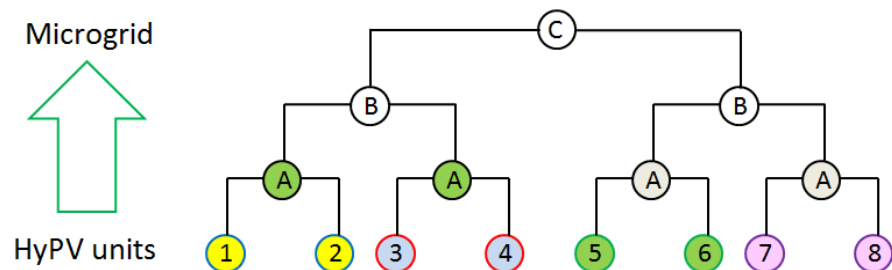
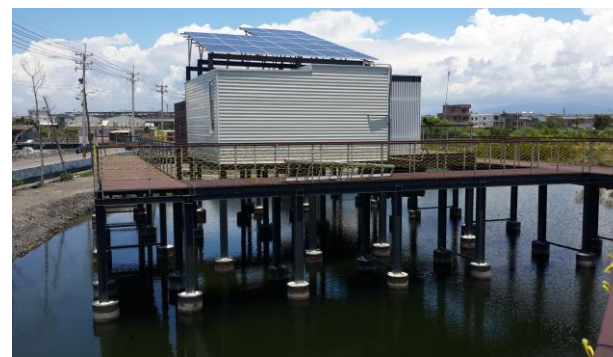
Researchers from both entities used the machine to facilitate the production of "large-area" perovskite solar cells through the MOCVD and thermal processing. The manufacturing process, which is based on chemical solution and heat thermal processing (PTP) each, is fully automated and can efficiently handle continuously complete production.

"This machine can continuously carry out four layers of film coating and heat treatment in cleaning and crystallization," said Binhuang Huang, a professor at the Tsinghua Center.

The largest area that can be produced with the equipment is 60 cm x 60 cm. The original principle principle will be the principle of this machine achieves 15.8% power conversion efficiency, which is about 17% of the world's best production by spin coating and heat plate processing. The research group explained.

The new machine is ready for commercialization, it was developed.

• 金字塔太陽能微電網



進入70歲...

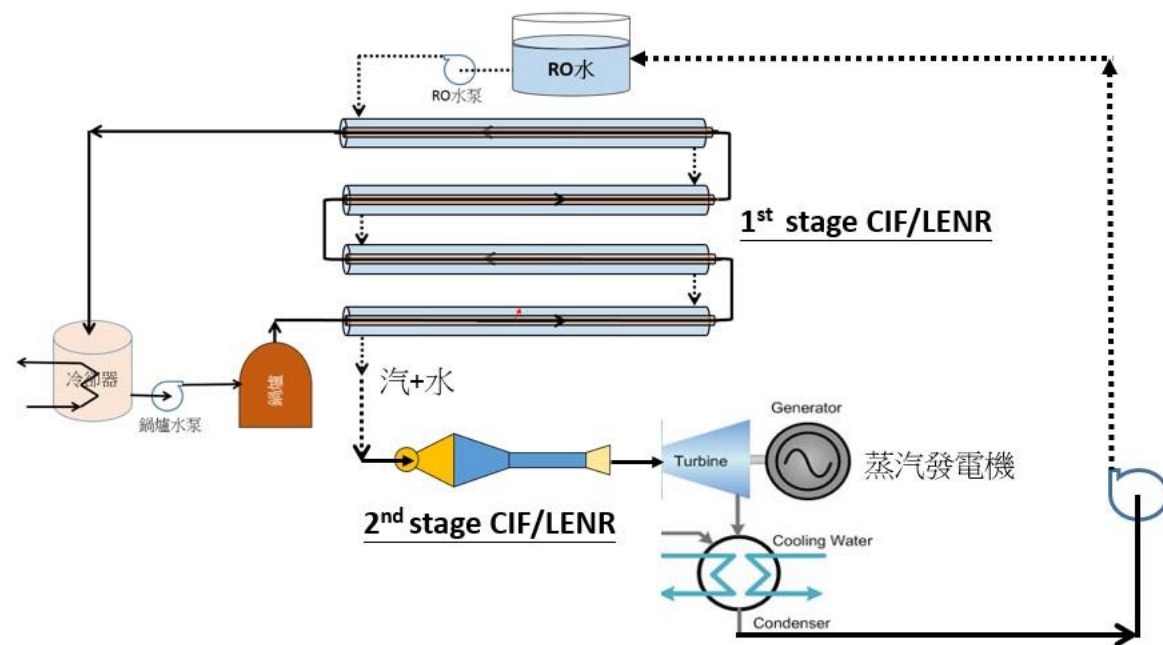
- 腦子如飛輪 + 千里眼 + 順風耳 + ‘第六感’ (但視茫茫、耳聾聾)?



期待



終極能源(LENR)



感謝

- 台大提供自由環境、溫州街豪宅、與師長厚愛
- 機械系同仁的寬待與協助
- 一群天才學生
- 一群出錢出力的熱心朋友
- 老婆+女兒(天使/美麗白老鼠)
- 感謝上帝恩賜一切