

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

環境管理署北區環境管理中心

「金屬表面處理廢水自主管理」宣導會議

奈米孔洞玻璃應用於電鍍金屬 製程水處理技術

工研院/材化所/應化組

杜子邦 經理

2024/05/28

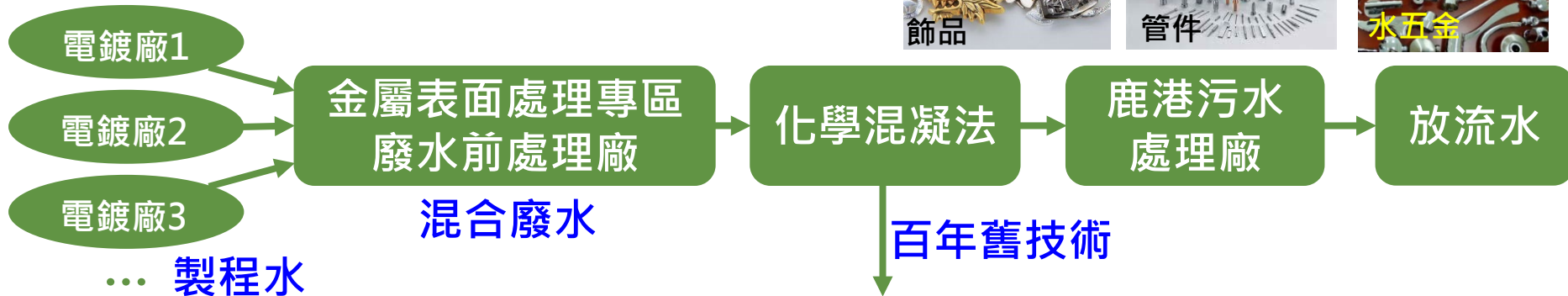


彰濱金屬表面處理專區污水廠

彰濱工業區1期+2期電鍍專區：

電鍍產業-重金屬製程水

每日產出3,500-4,000公噸廢水



重金屬污泥問題



- 電鍍廠製程水由金屬表面處理專區廢水前處理廠進行化學混凝
- 產出重金屬污泥(1,000~1,500公噸/年) 二次污染
- 重金屬污泥處理費高 (約20,000元/噸)
- 需高效能/低成本/低污染之處理技術

奈米孔洞玻璃吸附法與傳統化學混凝法比較表

Nanoporous glass(NaPoGlass) & Chemical Coagulation Method (CCM)

技術比較項目	奈米孔洞玻璃吸附 NaPoGlass	傳統化學混凝法 CCM
合適處理之金屬濃度	所有濃度範圍均有吸附功效	<100ppm 效率不良
金屬移除率	>99%	91~95% [1]
金屬移除程序	連續式程序 (快速)	批次式程序 (慢)
處理50CMD金屬廢水 所需空間	小 (約15 m ³)	大 (>130m ³)
金屬回收率	>90%	25~70% [2]
環境衝擊	無污泥及廢水排放	產生金屬污泥
廢水可回用性	可直接導回製程使用	需要另外建立中水回收系統，處理連中大量殘餘藥劑、polymer

[1] AMUDA, OS; AMOO, IA; IPINMOROTI, KO; AJAYI, OO, "Coagulation / flocculation process in the removal of trace metals present in industrial wastewater" , J. Appl. Sci. Environ. Mgt. September, 2006, Vol. 10 (3) 159- 162

[2] Catherine N. Mulligan, Raymond N. Yong, Bernard F. Gibbs, "Heavy metal removal from sediments by biosurfactants" , Journal of Hazardous Materials 85 (2001) 111-125

傳統CCM化學混凝法的困境

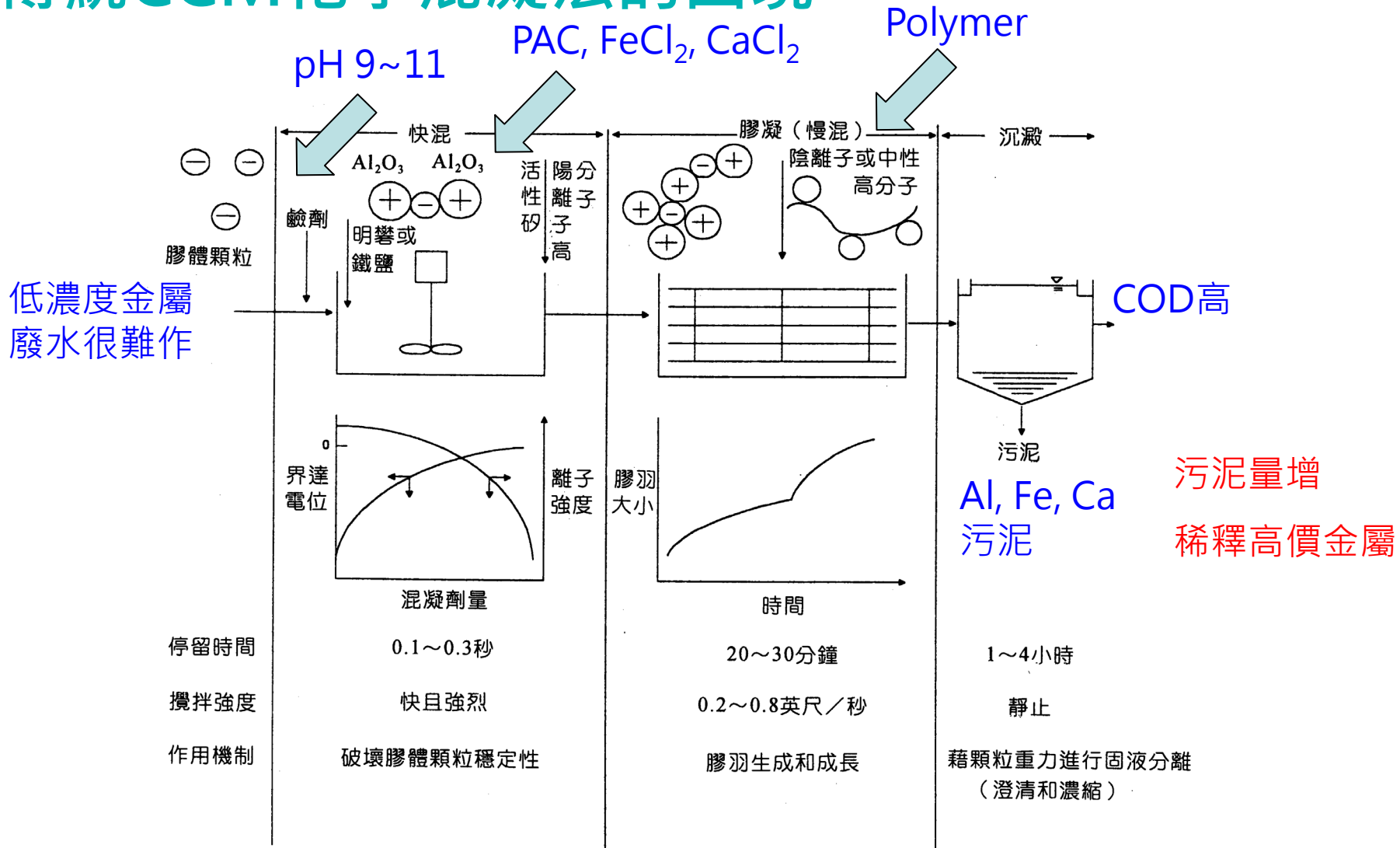
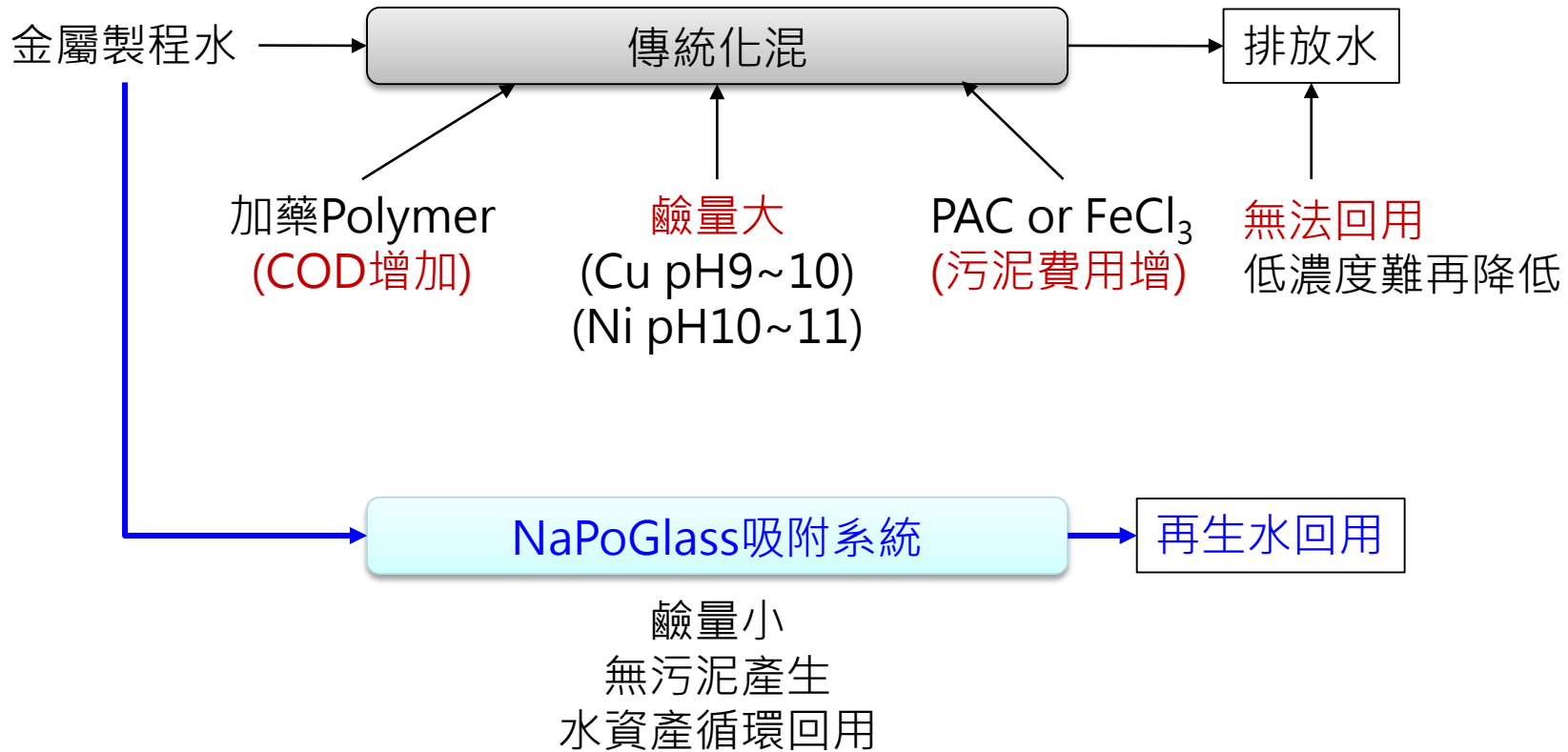


圖1 化學混凝程序之典型處理流程和作用機制⁽³⁾

曾迪華, "廢水物理化學處理功能診斷及案例", 工業污染防治 第61期(Jan.1997)

NaPoGlass vs CCM 操作效益比較

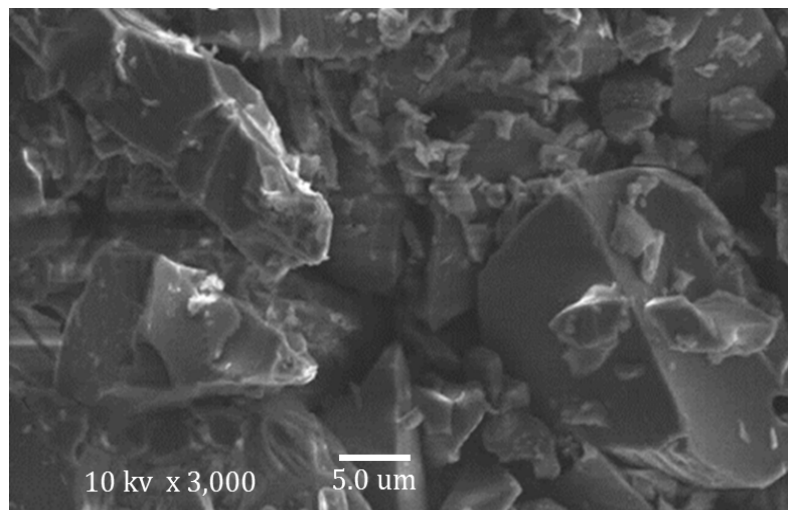


- 安裝吸附系統，除了可行進行再生水循環回用外，亦具有減省藥劑費，及污泥減量的效益。

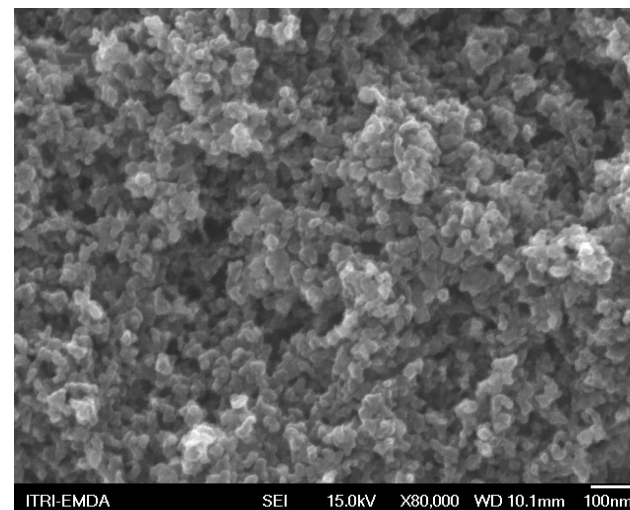
奈米孔洞玻璃NaPoGlass製程的研發(1)

➤ 孔洞特性分析

廢面板玻璃 (LCD Glass)



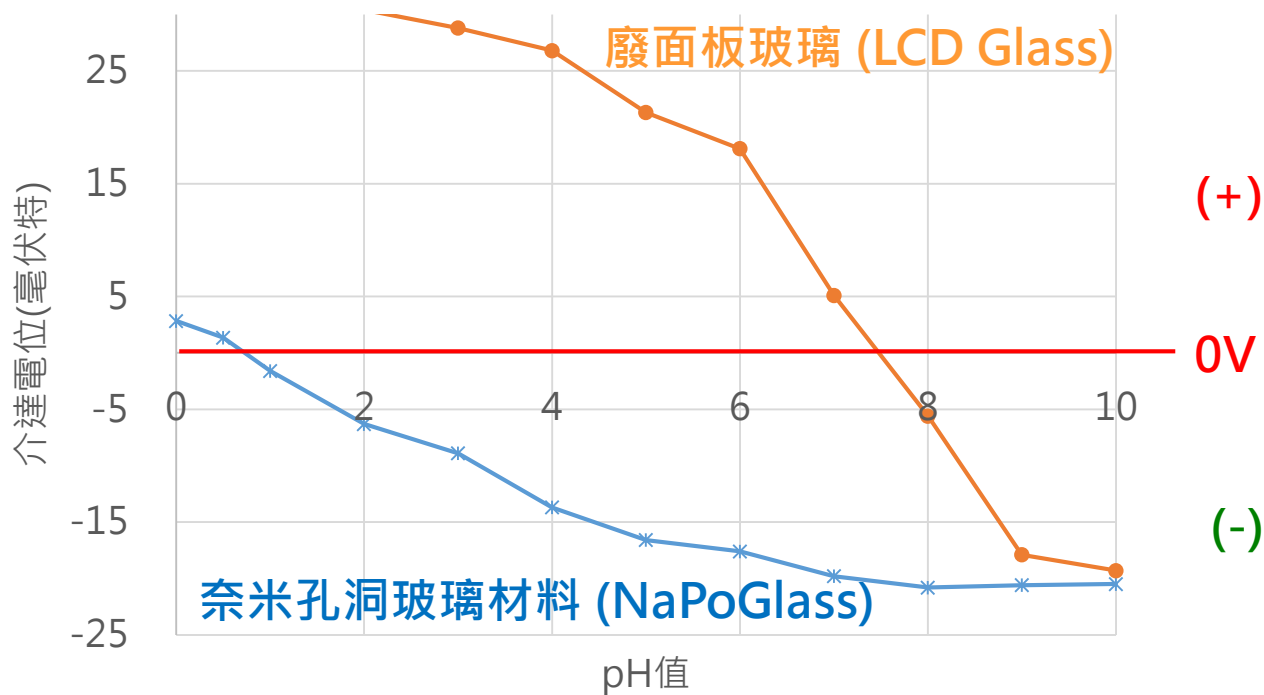
奈米孔洞玻璃材料 (NaPoGlass)



孔洞特性	廢面板玻璃 LCD Glass	奈米孔洞玻璃材料 NaPoGlass
比表面積 (m ² /g)	0.610	~200
孔洞容積 (cm ³ /g)	0.003	>0.5
孔洞直徑 (nm)	ND	2~20

奈米孔洞玻璃NaPoGlass製程的研發(2)

➤ 電位分析 Zeta-Potential



(+) 表面帶**負電荷**
對**正電金屬離子**
具有親和性

(-)

奈米孔洞玻璃NaPoGlass-試量產

LCD玻璃



奈米孔洞化技術



NaPoGlass孔洞材料



吸附金屬

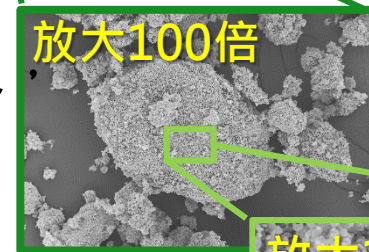


□ **1克** NaPoGlass孔洞材料表面積有200平方公尺，
相當於**半個籃球場**

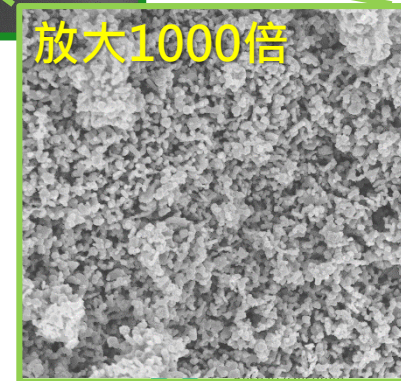
□ **1公斤** NaPoGlass孔洞材料可處理約**5噸**電鍍製
程水，每套系統可處理達**2000噸**水。(30ppm)

□ 重金屬飽和吸附量可達**15 wt.%**以上

放大100倍



放大1000倍



奈米孔洞玻璃NaPoGlass吸附系統的開發

第一代



第二代



解決偏流

第三代



解決堵塞及管柱耐久度

第四代



增加量體

第五、六代



改善操作運作

前期試驗-彰濱工業區實廠測試(1)

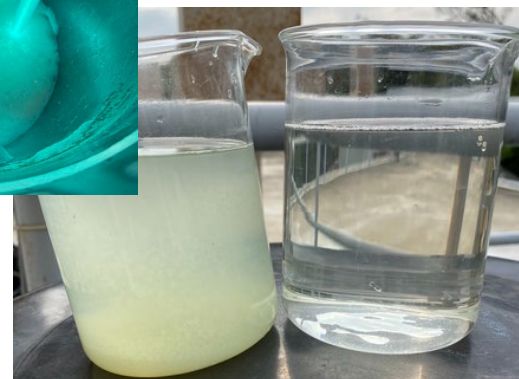
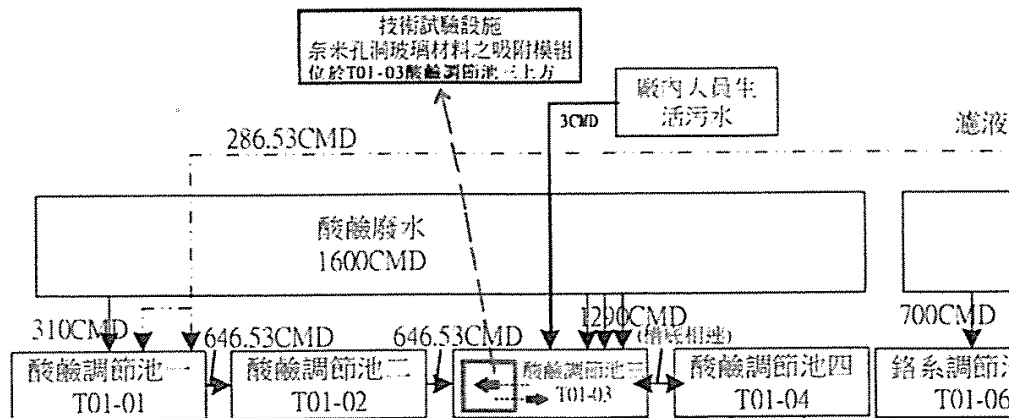
108年



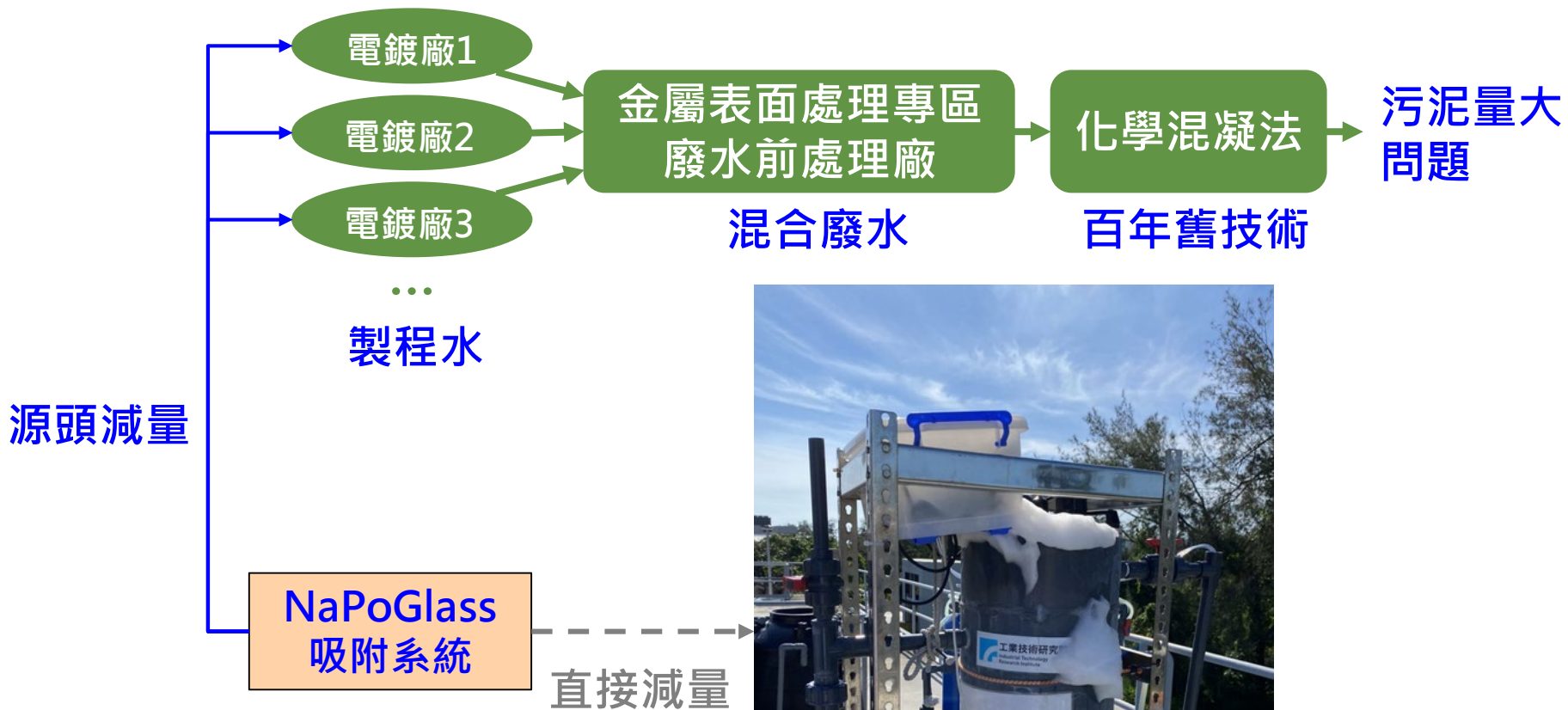
109年



金屬電鍍專區T01 第一、二期工程污水流向圖



前期試驗-彰濱工業區實廠測試(2)



NaPoGlass 吸附系統應用

高效能/無污染重金屬廢水處理技術



電鍍
製程



分流
處理



- 酸鹼系、氰系、鉻系
分流
- 不同金屬分流



可回用



處理後
潔淨水

• 金屬去除率 > 99%

模組式吸附
處理系統

- 適用金屬: 銅, 鎳, 鋅, 鉛, 鉻 (三價), 鈷等
- 金屬吸附量: > 16%
- 每管吸附管柱填充 100 公斤
- 入水條件: - pH 5~8
- 流量 ~ 15 L/min



NaPoGlass
奈米孔洞玻璃材料

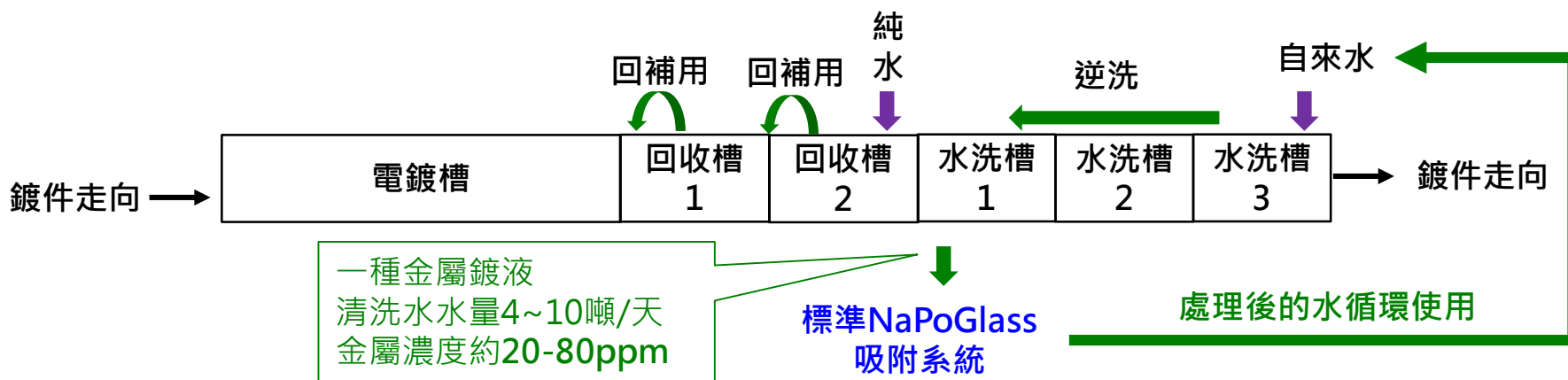


吸附製程水中金屬
日處理量: 24 噸/套

電鍍製程水分流

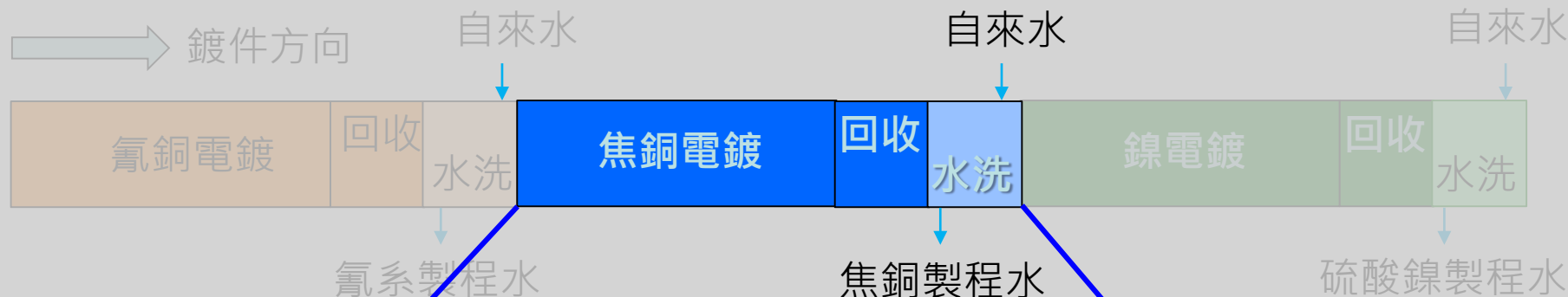


➤ 電鍍產線主要製程水為水洗產生，不同金屬能夠進行分流處理！

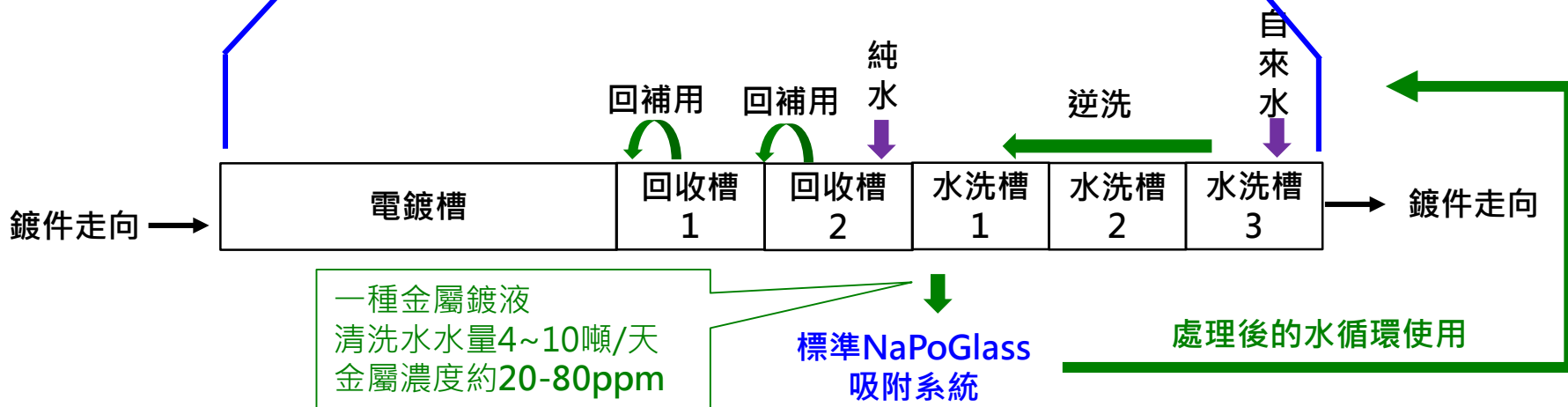


➤ 雙回收槽系統可使帶出金屬量在100ppm以下！

電鍍製程水分流



➤ 電鍍產線主要製程水來自水洗產生，不同金屬能夠進行分流處理！



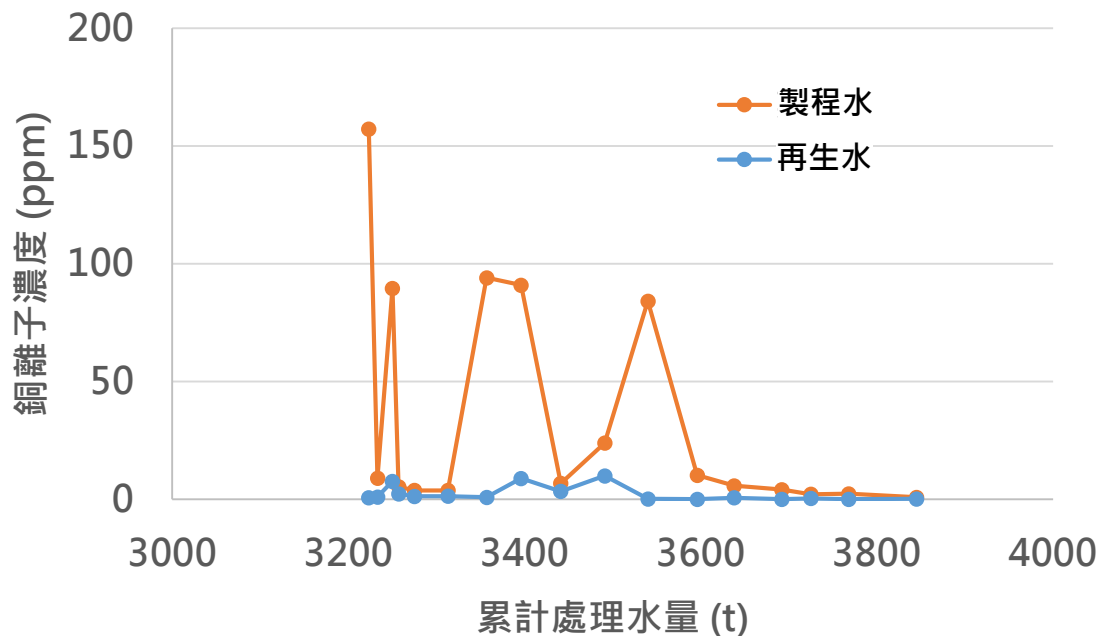
➤ 雙回收槽系統可使帶出金屬量在100ppm以下！

NaPoGlass 吸附系統運用案例說明- 吉祥電鍍

焦銅清洗
製程水

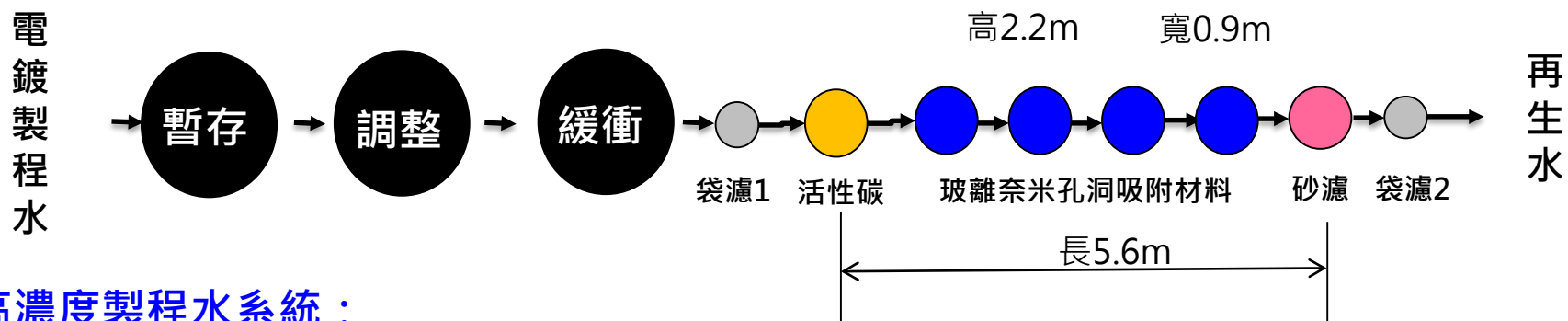


再生水

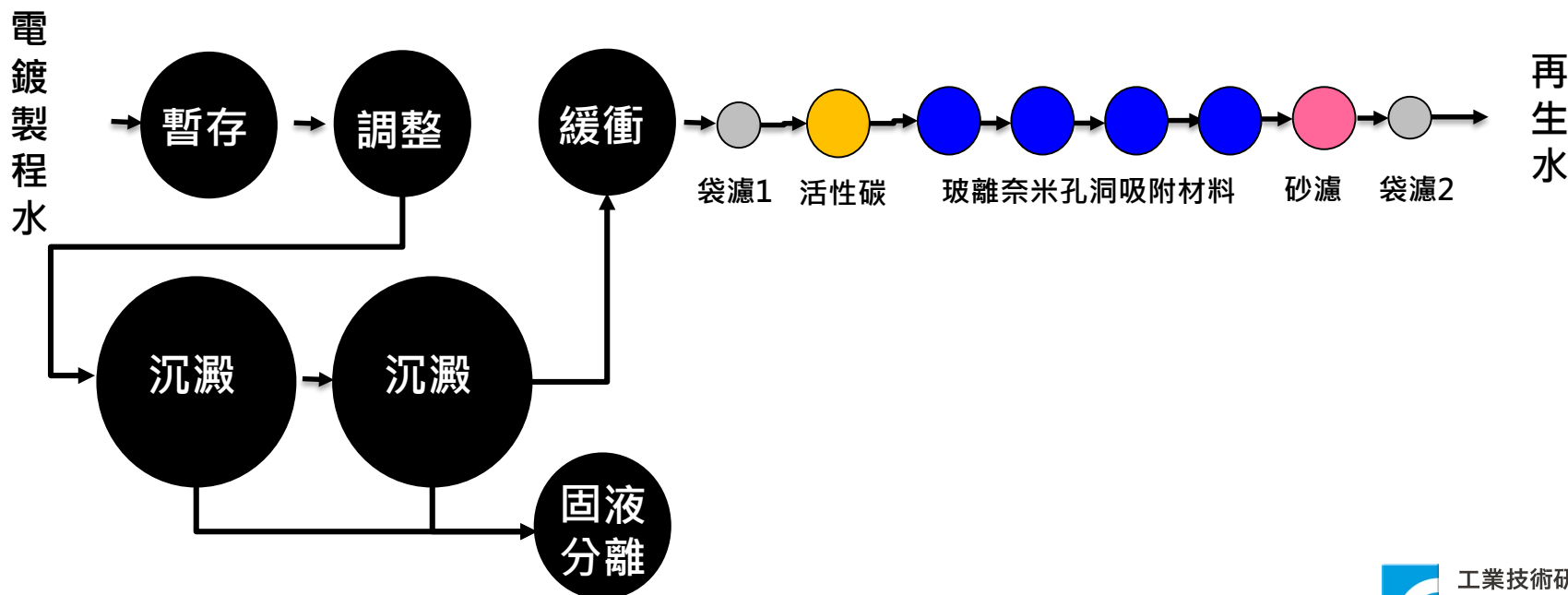


NaPoGlass吸附系統

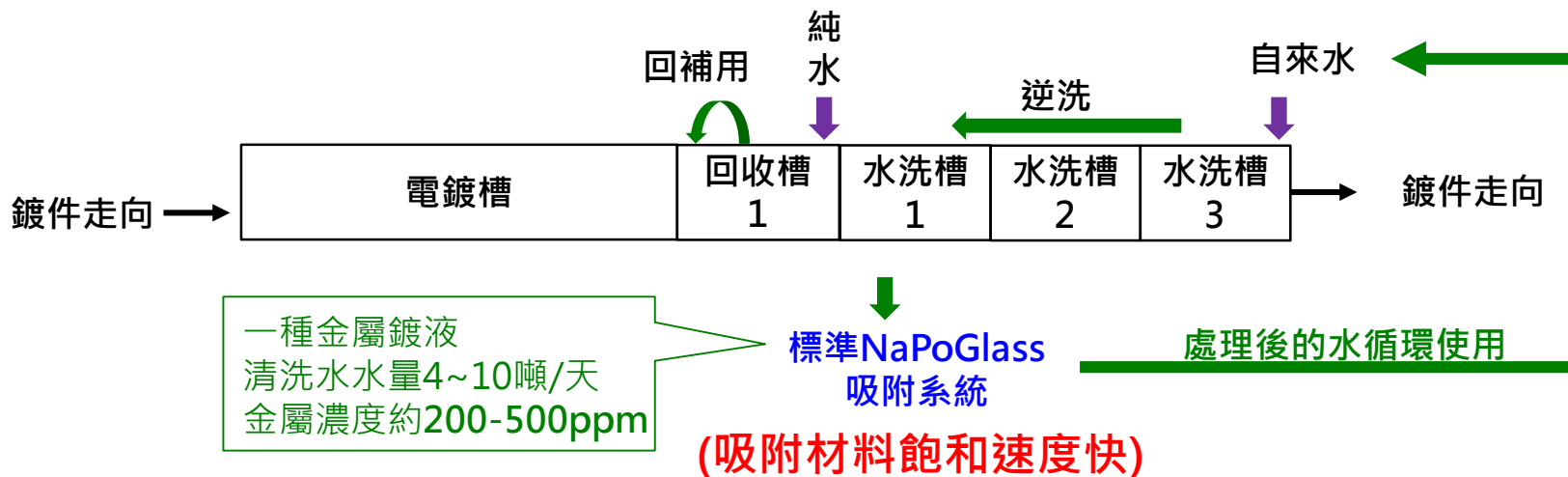
標準系統：



高濃度製程水系統：

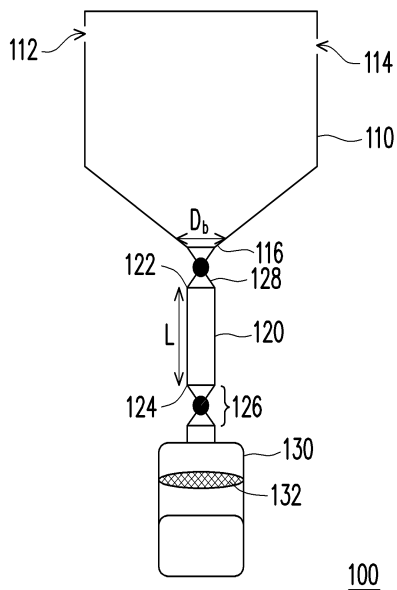


高濃度製程水需結合前處理系統



P54120010TW

工研院專利固液
分離系統



前處理系統之固液分離器

鍍件走向 →

一種金屬
清洗水
金屬濃

112

P54120010TW

工研院專利固液
分離系統



自來水

槽

鍍件走向

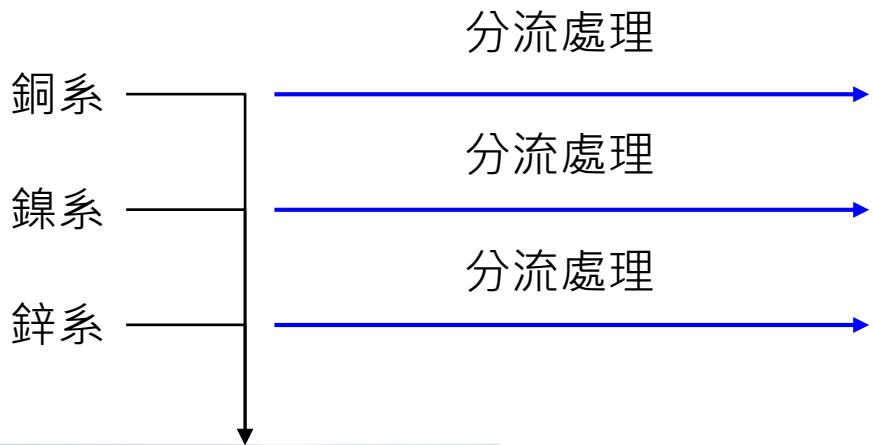
後的水循環使用

分流處理與金屬循環效益

銅 310 元/公斤

5/24現貨價 鎳 620 元/公斤

鋅 93 元/公斤

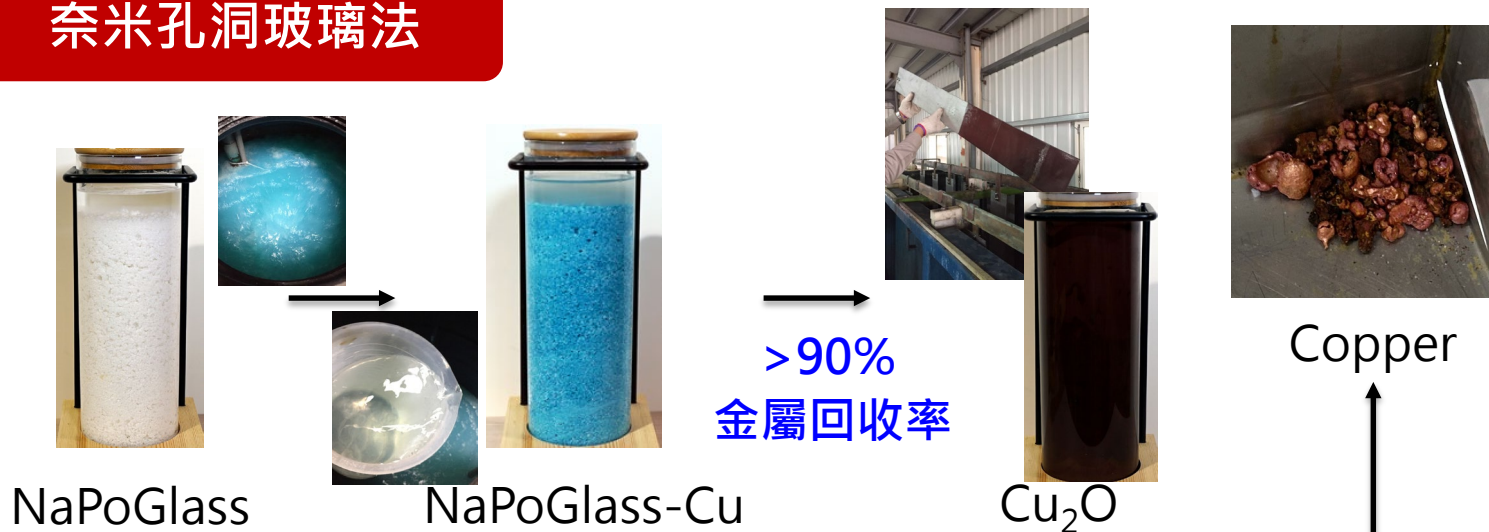


金屬含量5%~8%
(-) 付費處理

- 銅系 金屬含量~47% (+)收費銷售
- 鎳系 金屬含量~30%
- 鋅系 金屬含量~30% (-) 付費減少

NaPoGlass vs CCM 金屬循環效益比較

奈米孔洞玻璃法



化學混凝法



奈米孔洞玻璃NaPoGlass vs 離子交換樹脂

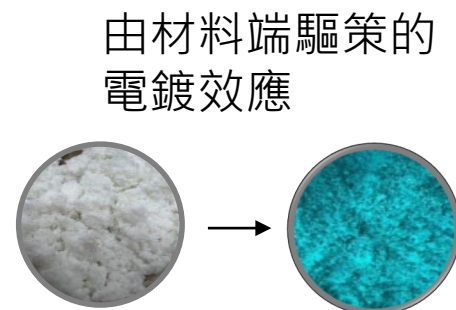
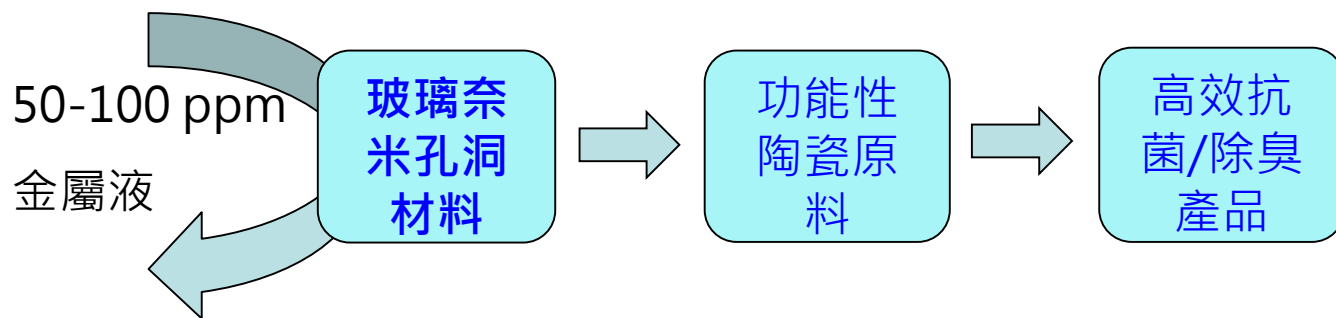
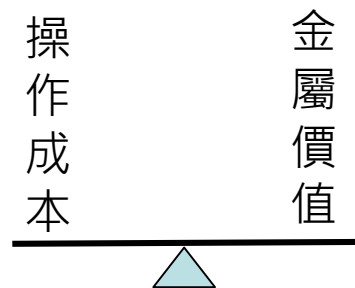
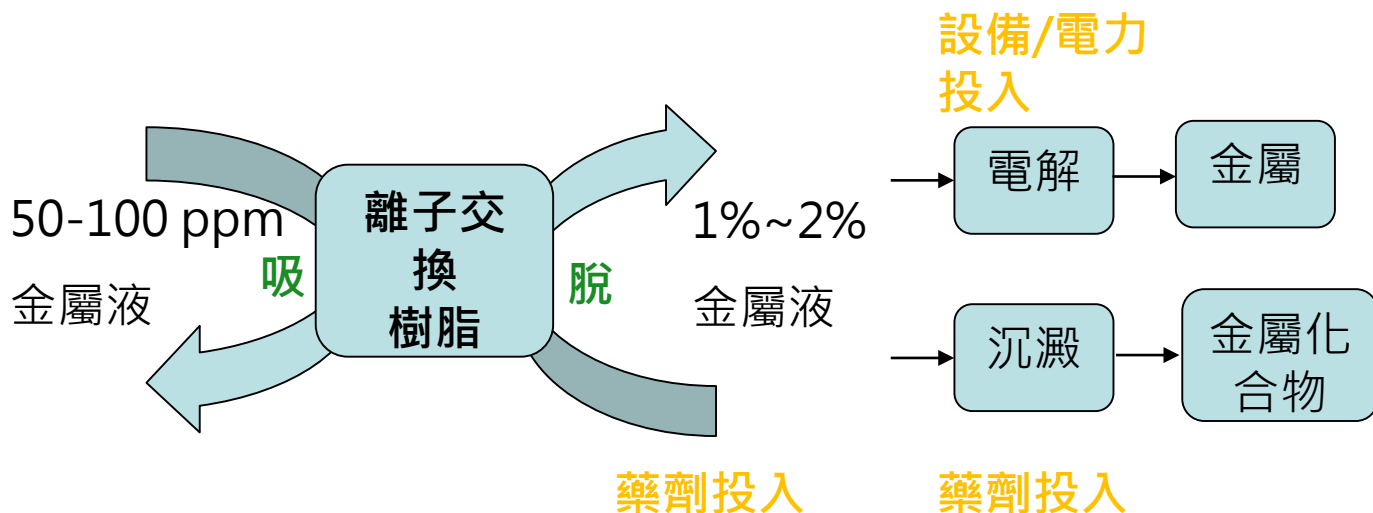
➤ 與離子交換樹脂比較

項目/種類	離子交換樹脂	奈米孔洞吸附劑
吸附容量	5%-8%	15%-20%
吸附方式	離子交換	1.電荷吸附 2.離子交換 3.孔洞捕捉
材質	高分子	無機玻璃
循環模式	脫附再生	1.脫附再生 2.機能陶瓷
材料回收方式	沉澱/電解	1.沉澱/電解 2.加工再製
適用金屬	貴金屬、部分鎳	各種電鍍常見金屬包括鎳、銅、鋅、鉻

NaPoGlass vs 離子交換樹脂

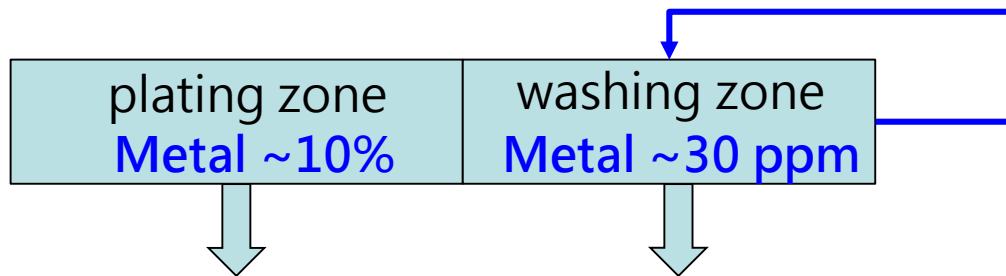
銅 310 元/公斤
 5/24現貨價 鎳 620 元/公斤
 鋅 93 元/公斤

➤ 與離子交換樹脂比較-運作模式

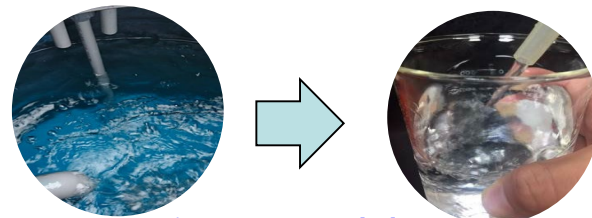


奈米孔洞玻璃NaPoGlass低碳電鍍製程

Rack plating production line



Perspective 1 : Water reuse



Able to produce product



NOT able to produce product
in the past

Perspective 2 : Able to produce
functionalized NaPoGlass



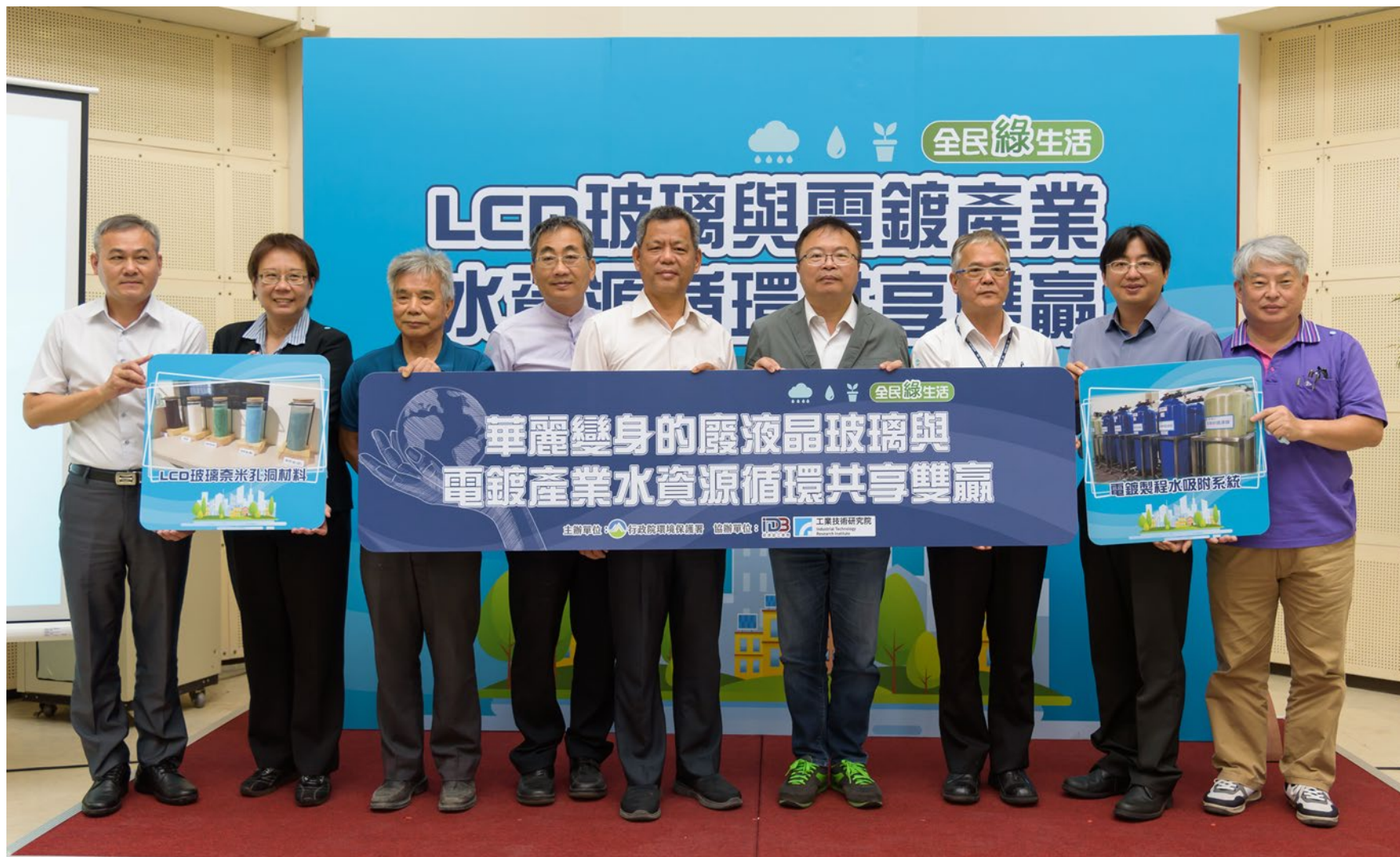
NaPoGlass



Functionalized
NaPoGlass

The **same metal purity** but
different concentration
between plating zone and
washing zone

NaPoGlass聯合發表推廣記者會



環保署/工業局/工研院，110年於彰濱工業區服務中心

NaPoGlass 吸附系統應用

應用場域: 吉○電鍍/ 祐○電鍍/
英○電鍍/ 道○電鍍/ 偉○電鍍/
泰○工業...

電鍍製程中 水循環



化混後 $Ni < 0.7ppm$ 應用場域: 沂○電鍍



吸附系統減碳效益評估

製程水再生回用減碳效益評估：

計算標準

熱風式乾燥滾筒去除一公斤水能耗：1.0~1.1kw-hr

110年度電力排碳係數：0.509 kg CO₂/kw-hr

每公斤水泥碳排放量:0.8 kg CO₂/ kg

自來水每度排放：0.152 kg CO₂

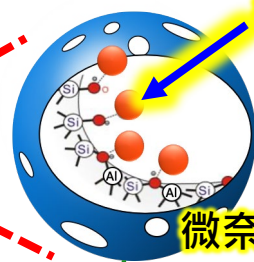
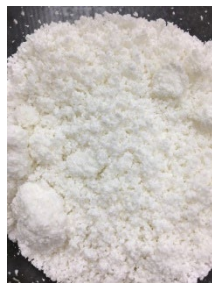
電鍍製程水 → **化學混凝法** → 廢水廠處理



- 以彰濱工業區/金屬表面處理專區為例，平均處理**1000公噸電鍍廢水**：
- 傳統化學混凝法使用**3.52公噸化學藥劑**、**777度電**，並產生 **4.32公噸重金屬汙泥**及碳排放量約 **9.81公噸CO₂e**。
- 以吸附系統取代傳統化學混凝法，每再生**1000公噸電鍍廢水**，可降低 **9.97公噸CO₂e**。專區污水廠排放至工業區污水廠二次處理累計

10.4公噸CO₂e

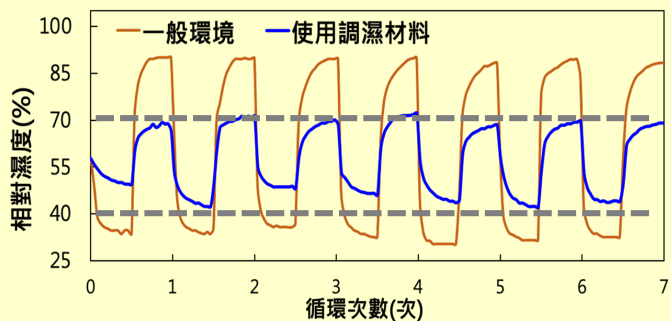
NaPoGlass 循環應用產品化(1)



表面金屬離子(~16%)

微奈米孔洞結構(3-50 nm)

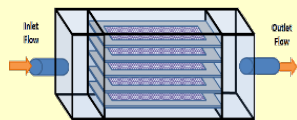
調濕功能 無耗能濕度控制



調濕壁磚

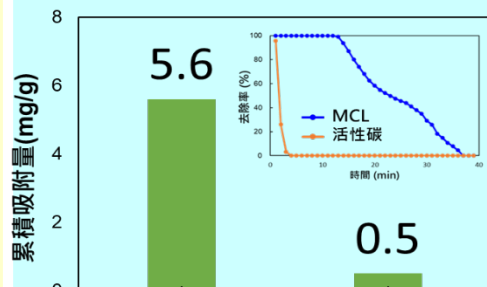


除濕包



除濕系統

除臭功能 活性碳10倍效能



ITRI

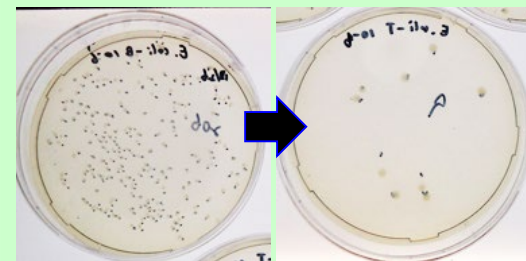
活性碳



吸濕除臭盒

除臭罐

抗菌功能 >99% 殺菌率

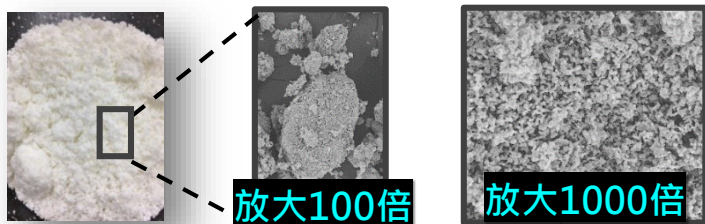


抗菌鞋墊

抗菌織物
/ 濾網

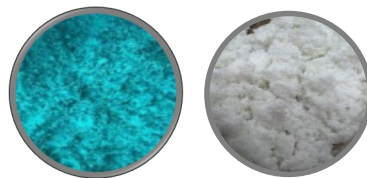
NaPoGlass 循環應用產品化(2)

奈米孔洞化技術



材料樣態

顆粒狀



8~13 nm

大顆錠狀



27.5±1 mm

小藥錠狀



10±1 mm

調溼除臭包



吸水杯墊



直徑9.7±0.2 cm
厚度0.7±0.1 cm

✓ 杯墊表面可客製化
設計及印刷精美圖面

六角磚-調溼抗菌壁磚



空間調溼/抗菌/除臭小物



NaPoGlass 循環應用產品化(3)

□ 抗菌濾網

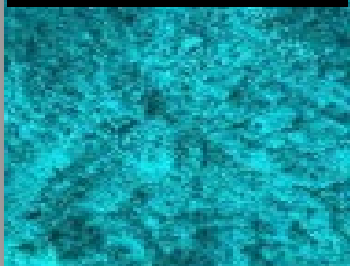
HEPA H11 等級，有效過濾PM0.3微米懸浮微粒 達到99%，壓損：6~8 mm H₂O。

抗菌率：金黃色葡萄球菌 >99%，大腸桿菌 > 99%

抗菌/除臭空氣濾網



機能玻璃孔洞材料



□ 抗菌織物(PP)

抗菌母粒熔噴



抗菌熔噴不織布



□ 抗菌織物(PET)

抗菌PET纖維絲



抗菌PET襪帶



□ 抗菌發泡(PU)

抗菌鞋墊



【洗滌測試】抑菌效果持久，水洗50次後金黃色葡萄球菌及大腸桿菌抗菌率 > 99.99%

SGS 紡織實驗室
Test Report 報告號碼: TX10554 /2022 /LE日期: 2022年01月20日頁數: 三之三頁
測試結果:
抗菌測試 (依日本工業規格協會 JIS L1902:2015)

樣品(A)		
試驗品	大腸桿菌 Esch. coli BRC No. 11634	金黃色葡萄球菌 Staphylococcus aureus BRC No. 10451
吸光度	CFU	LOG
樣品數 (CFU/mL)	1.3x10 ⁷	5.1
對照組 0 小時菌數 (G)	3.3x10 ⁷	4.5
對照組 18 小時菌數 (G)	1.1x10 ⁷	8.0
樣品組 0 小時菌數 (F)	3.3x10 ⁷	4.5
樣品組 18 小時菌數 (F)	<20	<1.3
對照組增殖率 (F) F=logG-logG	樣品組增殖率 (G) G=logF-logF	抗菌淨性係數 (A) A=(logG-logF) / (logT)
3.5	-3.2	>6.7

SGS 紡織實驗室
Test Report 報告號碼: TX62838 /2022 /PL日期: 2022年07月21日頁數: 三之二頁
測試結果:
抗菌測試 (依日本工業規格協會 JIS L1902:2015)

樣品(A)		
試驗品	大腸桿菌 Esch. coli BRC No. 11634	金黃色葡萄球菌 Staphylococcus aureus BRC No. 10451
吸光度	CFU	LOG
樣品數 (CFU/mL)	1.3x10 ⁷	5.1
對照組 0 小時菌數 (G)	3.3x10 ⁷	4.5
對照組 18 小時菌數 (G)	1.1x10 ⁷	8.0
樣品組 0 小時菌數 (F)	3.3x10 ⁷	4.5
樣品組 18 小時菌數 (F)	<20	<1.3
對照組增殖率 (F) F=logG-logG	樣品組增殖率 (G) G=logF-logF	抗菌淨性係數 (A) A=(logG-logF) / (logT)
2.5	-3.4	>6.2

SGS 紡織實驗室
Test Report 報告號碼: TX10554 /2022 /LE日期: 2022年01月20日頁數: 三之二頁
測試結果:
抗菌測試 (依日本工業規格協會 JIS L1902:2015)

樣品(A)		
試驗品	金黃色葡萄球菌 Staphylococcus aureus BRC No. 10451	大腸桿菌 Esch. coli BRC No. 11634
吸光度	CFU	LOG
樣品數 (CFU/mL)	2.7x10 ⁷	5.4
對照組 0 小時菌數 (G)	5.3x10 ⁷	4.8
對照組 18 小時菌數 (G)	2.9x10 ⁷	7.5
樣品組 0 小時菌數 (F)	5.3x10 ⁷	4.7
樣品組 18 小時菌數 (F)	<20	<1.3
對照組增殖率 (F) F=logG-logG	樣品組增殖率 (G) G=logF-logF	抗菌淨性係數 (A) A=(logG-logF) / (logT)
2.7	-3.4	>6.2

備註:
1. 測試報告僅就委託者之委託事項提供測試結果，不對產品合法性做判斷。
2. 本報告含下列離心菌數說明。
3. 菌數數據介於 1.0*10³-3.0*10⁷ CFU/mL。
4. 對照組增殖率(F)≥1.0 表示試驗成功。
5. 抗菌淨性係數(A)的計算，當logG > logT，則以logG替代logT。
6. 抗菌淨性係數(A)若 ≥ 2.3，表示有抑菌效果。
7. 抗菌淨性係數(A)若 ≥ 4.0，表示有顯著抑菌效果。
* 水洗條件: 參照國際標準化協會 AATCC 135 - 2018 - (2)11B 41b load
- 使用 JAFET 標準洗劑(40ml/30L) 水溫 105±5°F - 機器洗
- 乾洗 - 洗 50 次
由其他 SGS 實驗室執行

結論

- LCD玻璃奈米孔洞材料具高效金屬吸附特性，以高效率/低成本/低汙染進行電鍍製程水之吸附處理，無金屬汙泥產生，可節省高價之汙泥處理費，並達成低碳電鍍製程之功效。
- 吸附金屬後LCD玻璃奈米孔洞材料可脫附再生重複使用，亦可開發其他新應用，無二次汙染產生。
- 創新技術推廣與進步，仰賴大家的支持與參與！

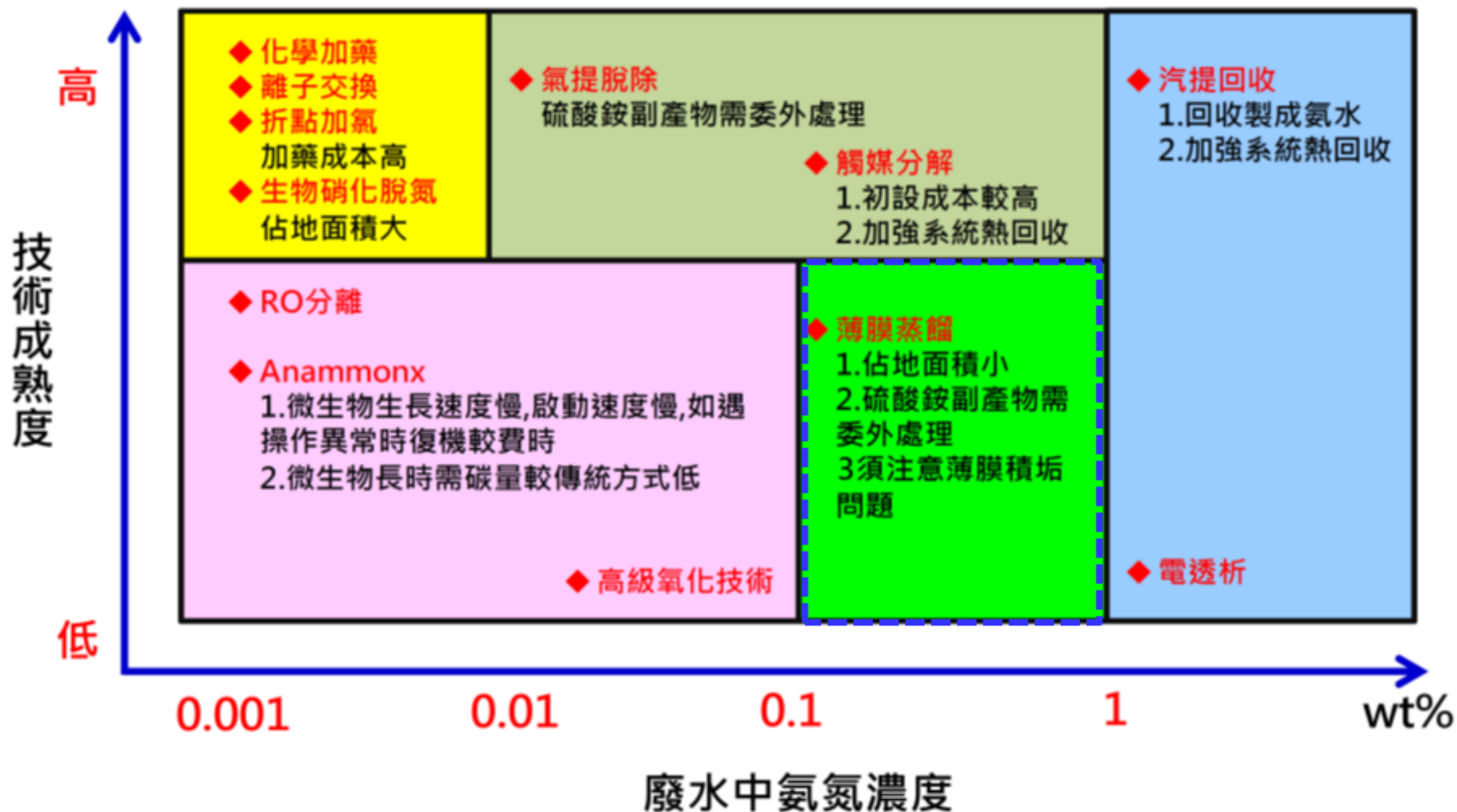
氨氮廢水處理技術分析

氨氮廢水處理技術		優點	缺點	回收產物
化學處理	化學沉澱法	<ul style="list-style-type: none"> ✓可以處理中高濃度氨氮廢水 ✓建設費用較低 ✓操作簡單 	<ul style="list-style-type: none"> ✓需要添加鎂、磷酸根鹽類，藥劑成本高 ✓操作費用較高 	磷酸銨鎂複合鹽類
	折點加氯	<ul style="list-style-type: none"> ✓反應速度快 ✓操作簡單 ✓不受水溫與廢水中鹽類含量影響 	<ul style="list-style-type: none"> ✓適合處理低濃度氨氮廢水 ✓操作費用較高 ✓易產生有毒副產物 	氮氣/氯化鹽類
	高級氧化	<ul style="list-style-type: none"> ✓去除效率穩定 	<ul style="list-style-type: none"> ✓操作費用較高 	氮氣
物化處理	氣提法	<ul style="list-style-type: none"> ✓建設及操作費用較低 ✓操作簡單 ✓可處理高濃度氨氮廢水 	<ul style="list-style-type: none"> ✓可能有氨氮逸出二次污染疑慮 ✓能源消耗量大 	氮氣/氨水/硫酸銨
	離子交換	<ul style="list-style-type: none"> ✓操作費用較低 ✓操作簡單 	<ul style="list-style-type: none"> ✓離子交換樹脂需要再生逆反應，再生廢液需妥善處理 ✓適合處理低濃度氨氮廢水 	含氮化學品/氮氣/氨水
	薄膜	<ul style="list-style-type: none"> ✓操作簡單 ✓去除效率穩定 ✓無二次污染問題 	<ul style="list-style-type: none"> ✓能源消耗量大，若有廢熱可省能 ✓反應膜易阻塞需要再生逆反應，操作成本高 	氮氣/氨水
	分離	<ul style="list-style-type: none"> ✓去除效率穩定 	<ul style="list-style-type: none"> ✓操作成本高 ✓有濃排水處理問題 	氨水
生物處理	微藻法	<ul style="list-style-type: none"> ✓除氮效率高 ✓可除氮磷 ✓適用範圍廣 	<ul style="list-style-type: none"> ✓適合處理低濃度氨氮廢水 ✓占地面積大 ✓操作技術與硬體需求高 ✓可能需外加碳源 	氮氣
	Anammox厭氧氨氧化	<ul style="list-style-type: none"> ✓占地面積小 ✓低能耗 ✓操作成本低 	<ul style="list-style-type: none"> ✓適合處理低濃度氨氮廢水 ✓菌種生長速率低 ✓處理時間較長 	氮氣

資料來源：工研院產科國際所

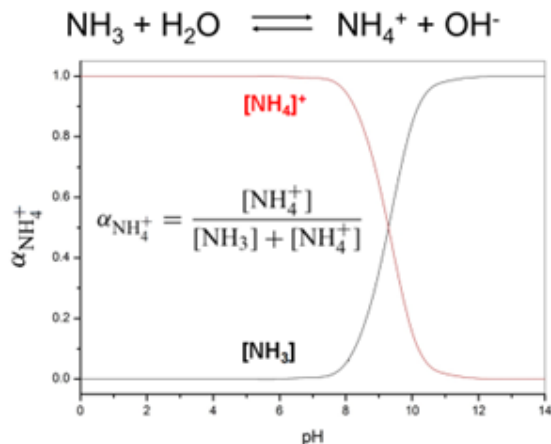
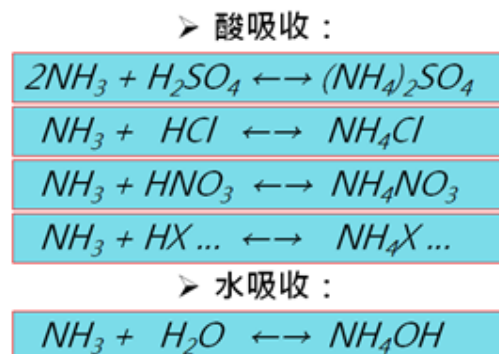
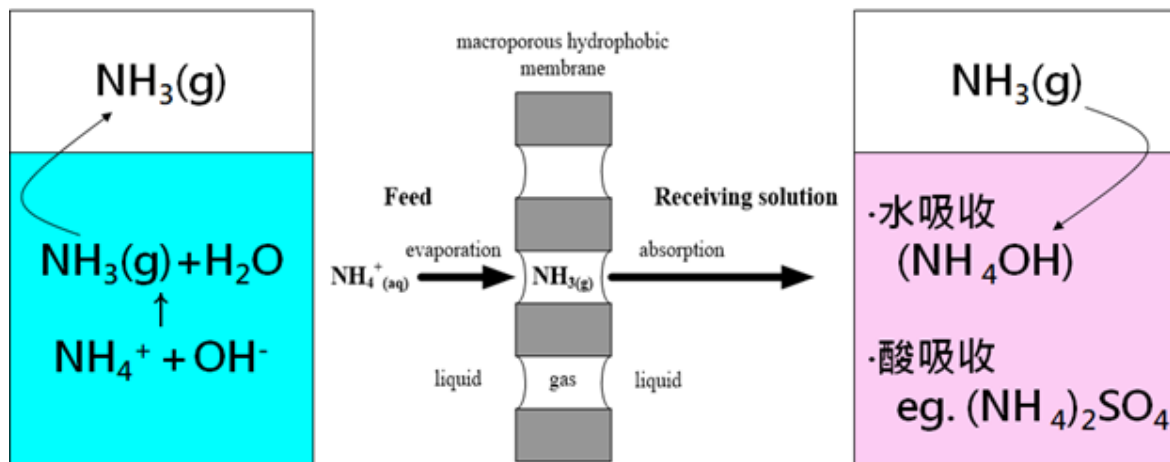
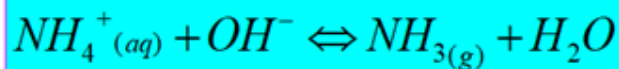
資料來源：氨氮廢水資源化再利用商機，工業材料雜誌409期，邱純慧，工研院，2021

氨氮廢水處理技術

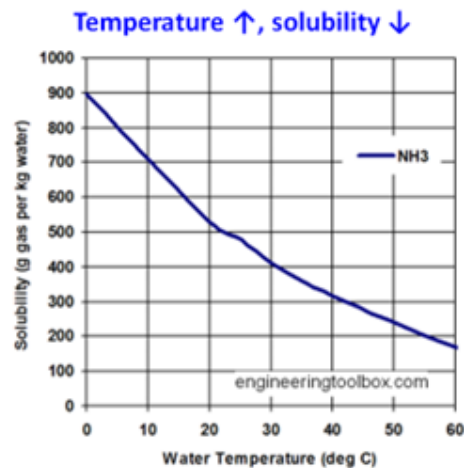


資料來源：工研院 / 創新氨氮廢水資源化，傅正貴，李玟，許哲彰，王俊元，台積電

薄膜蒸餾分離氨氮機制



影響NH₃與NH₄⁺平衡-pH

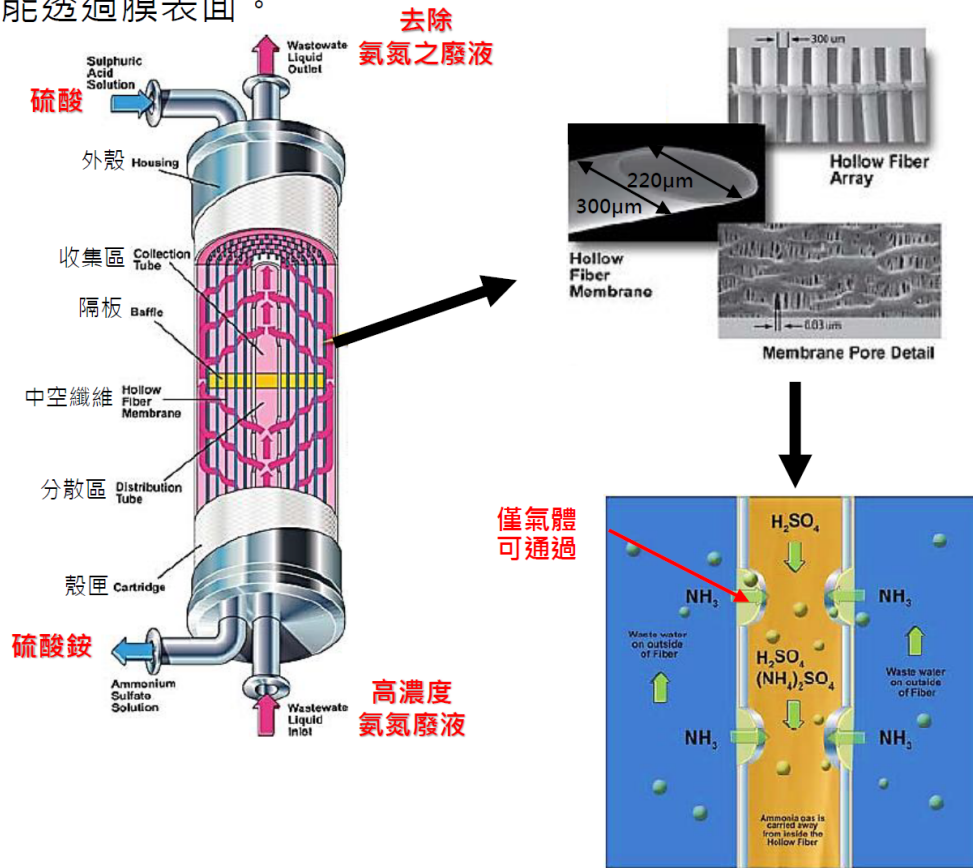


影響水中NH₃溶解度-溫度

薄膜蒸餾分離氨氮-TSMC

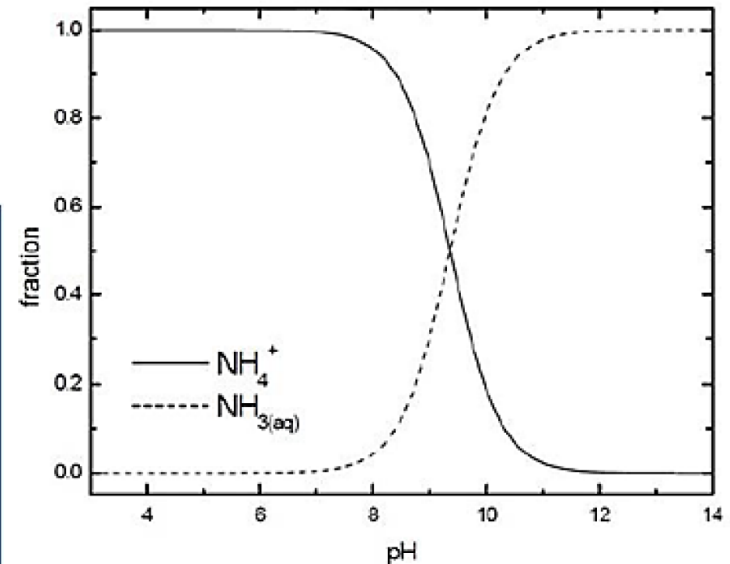
MD membranes

脫氣膜主要由微孔型之纖維(聚烯烴基)，以捲筒式纏繞包覆。脫氣膜運轉時，待去除液體由中空纖維膜外壁流過，內壁以吸收液去除液體中之溶解性氣體，由於膜之疏水性質，提供氣液接觸介面，使氣體能透過膜表面。



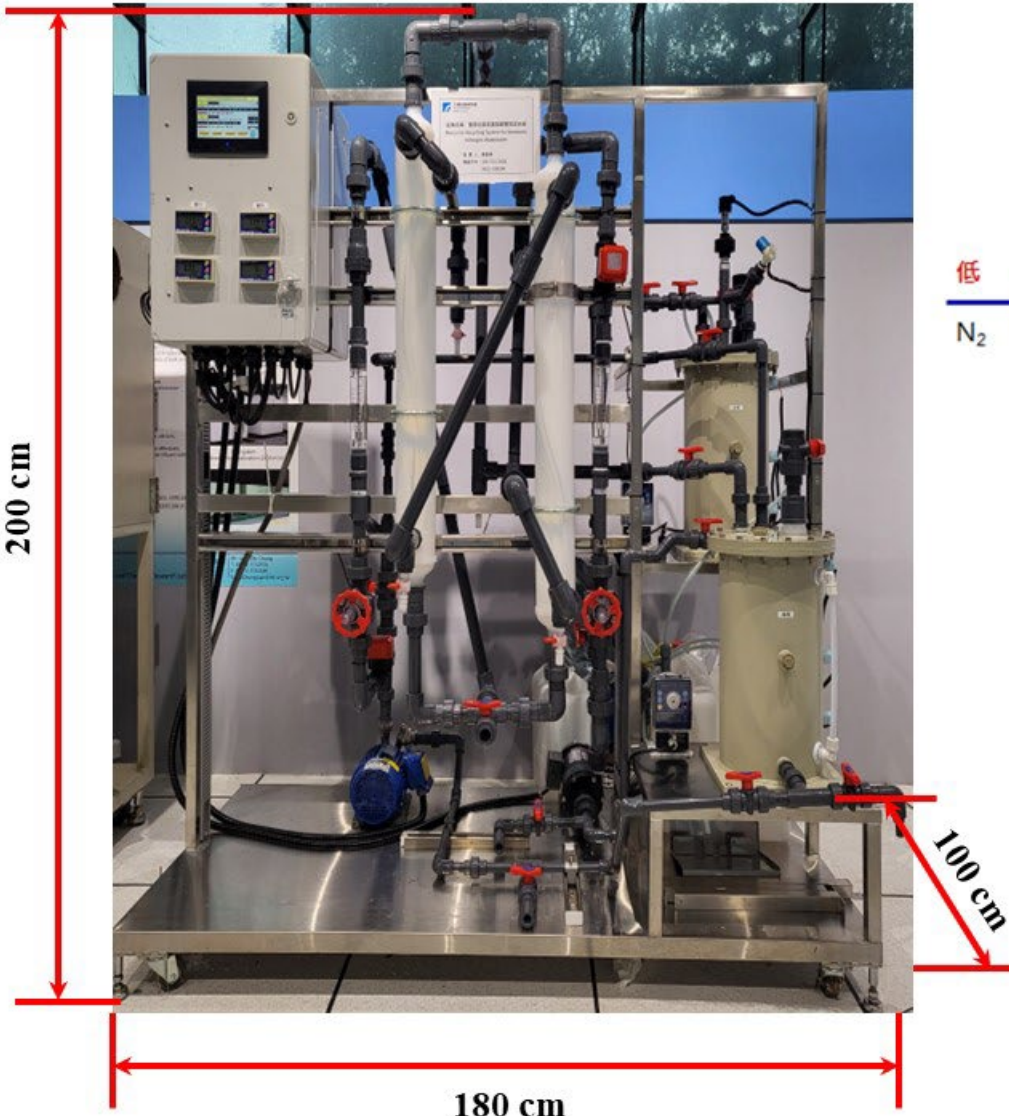
Ideal Process Parameters for Ammonia Removal

- NH₃ inlet conc. >500ppm
- Pre-filtration <10μm abs
- Temperature 40-55°C
- Feed stream pH>10
- Acid stream pH<2

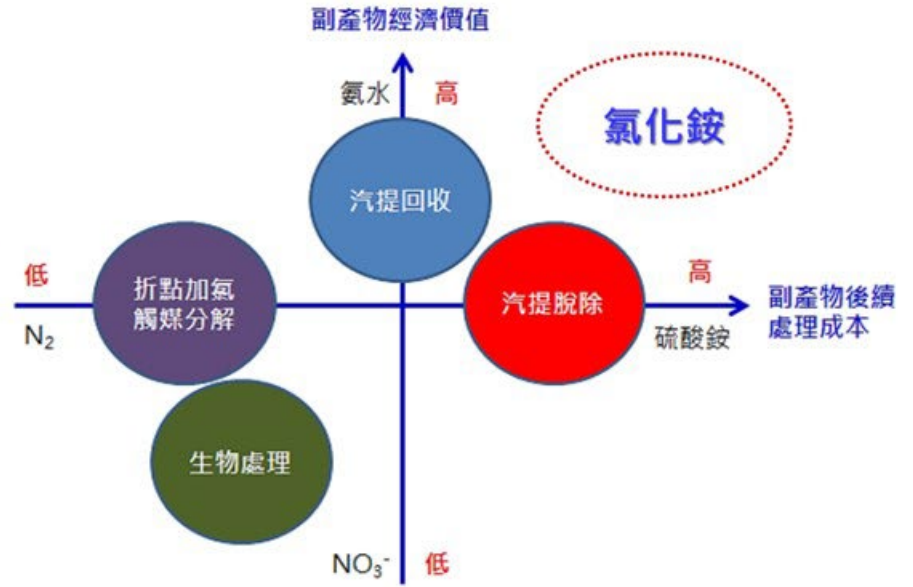


資料來源 : Ammonia Waste Water Resources Innovation, K.H. Yang, tsmc

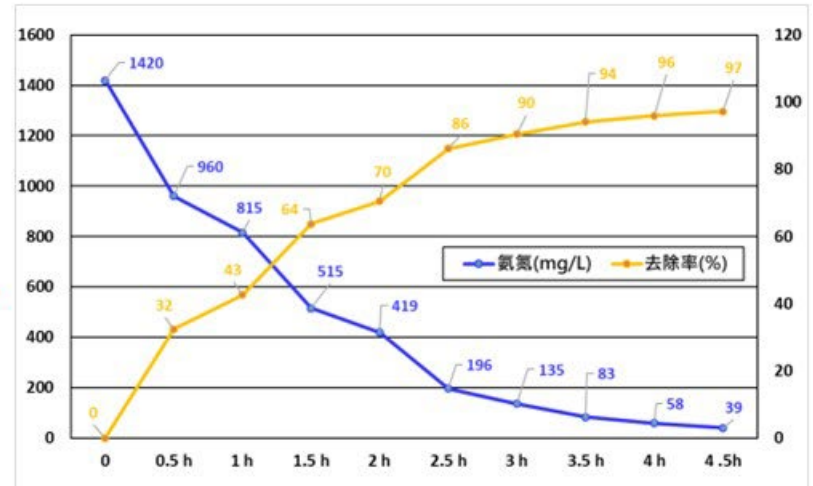
氨氮廢水產製氯化銨系統



氨氮廢水產製氯化銨效能測試系統



資料來源: Ammonia Waste Water Resources Innovation, K.H. Yang, tsmc



台南偉順電鍍-電鍍製程升級改善經驗談

徐東鎮 理事長

