

非破壞性檢測

液體導電度量測與應用

生物機電工程學系 連振昌

- 測量溶液中能夠流過電流的能力，與電阻呈倒數關係，而導電度大小約與溶液電離子的數量呈正比。
導電度分析儀器是利用兩極板並施加電壓來測量

$$K = G * L / A$$

K：導電度(S/cm)，G：常數，L：兩極板間的距離(cm)，A：極板的面積(cm²)

- 在導電度計的sensor (感測器) 中有一個叫 Cell constant的係數，就是上述式中之L/A。
- 導電度計可用來表示溶液的導電能力。導電力和溶液中的離子之有無，離子濃度、活性、價數，及離子間相對濃度有關，和溶液的溫度也有關係。

- 於實驗室中，通常是量測溶液的電阻 (Resistance)。已知一個導體的電阻是和它的截面積成反比，和其長度成正比。
- 導電度 (Conductivity) 為將電流通過1截面積，長1cm之液柱時電阻 (Resistance) 之倒數，單位為 s/cm (mho/cm)，導電度較小時以其或表示，記為 ms/cm 或 $\mu\text{s/cm}$ 。
- 導電度之測定需用標準導電度溶液先行校正導電度計後，再測定水樣之導電度。
- 當溫度改變攝氏一度時，導電度會偏差1.9%，因此測定時，最好使用水浴維持在 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，否則需校正溫度偏差，並以 25°C 之校正值表示之。

- 1.將標準氯化鉀KCl溶液及待測定之水樣置於室溫或水浴中保持恆溫，此時水溫應在 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，否則依表二調整電極至標準值，或依下式調整電極讀值：

$$\text{校正值} = 1413 * (1 - 0.191 * (25 - T))$$

$$\text{EC} = \text{EC}_t / (1 - 0.191 * (25 - T))$$

T：水溫 ($^{\circ}\text{C}$)

- 2.測定水樣時，電極先用充分之去離子蒸餾水淋洗，然後用水樣淋洗後，再測其導電度。
- 3.以同樣步驟測定其他各水樣之導電度。
- 4.樣品多時，應於測定過程中，以標準氯化鉀溶液校正之。

□ Cell constant 依據待測溶液的導電度範圍來決定。

高導電度必須增加兩極板的距離，選用之Cell constant 愈大，反之溶液的導電度很低，則極板間的距離必須縮短才測得到，Cell constant 的數值也愈小。

□ 導電度的測量與極板的大小有關

若極板有沾附物導致極板面積改變時，所測到的導電度也就不準。此外，必須避免氣泡容易產生或積存的地方。

□ 導電度會因溫度上升導致溶液內離子的移動性增強而上升，在不同的溫度下會有不同的導電度，所以導電度通常是將溫度補償成一個參考溫度下的導電度，而參考溫度通常是 25°C 。

液體導電度測定方法 — 導電度計法

中華民國八十九年十一月二十三日（89）環署檢字第70017號公告

自中華民國九十年二月二十三日起實施

一、方法概要

導電度（Conductivity）為將電流通過 1 cm^2 截面積，長 1 cm 之液柱時電阻（Resistance）之倒數，單位為 mho/cm ，導電度較小時以其 10^{-3} 或 10^{-6} 表示，記為 mmho/cm 或 $\mu\text{mho/cm}$ 。測定時需要用標準導電度溶液先行校正導電度計後，再測定水樣之導電度。

二、適用範圍

本方法適用於水及廢污水中導電度之測定，測定範圍因導電度槽之電極常數 C 值之大小而異，一般而言，電極常數和測定範圍之關係如表一所示。

表一 電極常數 C 與測定範圍之關係

電極常數 (cm^{-1})	電極常數 ($\mu\text{mho/cm}$)
0.01	20以下
0.1	1~200
1	10~2000
10	100~20000
50	1000~200000

三、干擾

(一)

電極上附著不潔物時，會造成測定時之誤差，故電極表面需經常保持乾淨，使用前需用標準之氯化鉀溶液校正之。

(二)

當溫度改變攝氏一度時，導電度會偏差 1.9 %，因此測定時，最好使用水浴維持在 $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，否則需校正溫度偏差，並以 25°C 之校正值表示之。

四、設備

(一)

導電度計：包括導電電極（白金電極或其他金屬製造之電極，至少具有 1.0 之電極常數者）鹽橋（使用範圍在 $1-1000 \mu\text{mho/cm}$ 或更大者）或溫度測定及補償裝置。

(二)

溫度計，可讀至 0.1°C 者。

(三)

水浴：有恆溫裝置及耐腐蝕者。

五、步驟

(一)

將標準氯化鉀溶液及待測定之水樣置於室溫或水浴中保持恆溫，此時水溫應在 $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，否則依表二調整電極之導電度值。

(二)

測定水樣時，電極先用充分之去離子蒸餾水淋洗，然後用水樣淋洗，再測其導電度。

(三)

以同樣步驟測定其他各水樣之導電度。

(四)

水樣多時應於測定過程中，以標準氯化鉀溶液校正之。

表二 0.01 N 之標準氯化鉀溶液於不同溫度
下之導電度值

°C	μ mho/cm	°C	μ mho/cm
15	1142	24	1385
16	1169	25	1412
17	1196	26	1439
18	1223	27	1466
19	1250	28	1493
20	1277	29	1525
21	1304	30	1554
22	1331	31	1584
23	1358	32	1613

六、結果處理

若無溫度測定補償裝置者。則需以下式計算：

$$k, \mu\text{mho/cm} = \frac{(\text{km})}{1 + 0.0191 (t - 25)}$$

其中：

$k, \mu\text{mho/cm}$ = 換算成 25°C 時之導電度

km = 在 $t^\circ\text{C}$ 時測得之導電度

導電度量測的應用

- 1.呼吸酒測器
- 2.水中鹽度(Salinity)
- 3.水質健診
- 4.生物能測量儀
- 5.水耕蔬菜栽培設施監控系統
- 6.測謊器的應用
- 7.泌乳牛乳量計檢測
- 8.泌乳牛乳房炎檢測

1. 呼吸酒測器

- 酒精會抑制中樞神經系統造成使用者視覺與聽覺障礙，降低注意力與判斷力，響程度與生物體中的酒精濃度成正比。
- 飲用含有酒精的飲料後，約20%由胃吸收，80%由小腸與大腸吸收，數分鐘後即分佈在血液中。經由肝臟的脫氫酵素（dehydrogenase）催化代謝，約95%的酒精會先變成乙醛，再氧化成醋酸，最後氧化形成二氧化碳與水，其餘約5%則由糞便、尿液、呼氣、皮膚汗液與唾液排出。

- 想要測量人體內酒精的殘量，可由血液、尿液、唾液與呼氣進行測量，但因執法上不易採取血液、尿液、汗液、唾液檢體，因此較可行的方法是以呼氣酒精濃度（BrAC）換算血液中酒精濃度（BAC）來檢測
- 呼氣酒精濃度測量的原理，是基於血液中的酒精會遵循亨利定律（Henry's Law）而自由擴散於肺部中所謂亨利定律是氣體在液體中的溶解度與氣體在氣相中的分壓成正比，因此在定溫定壓下，血液中的酒精濃度與肺部呼出的氣體酒精濃度會有一定的比例。目前公認BAC與BrAC的比例為2100：1，換言之，2100毫升呼氣中酒精含量，約等於1毫升血液中酒精含量。

□呼氣中酒精濃度的檢驗方法可依物理原理，可分為「紅外線吸收光譜法」與「導電度法」。

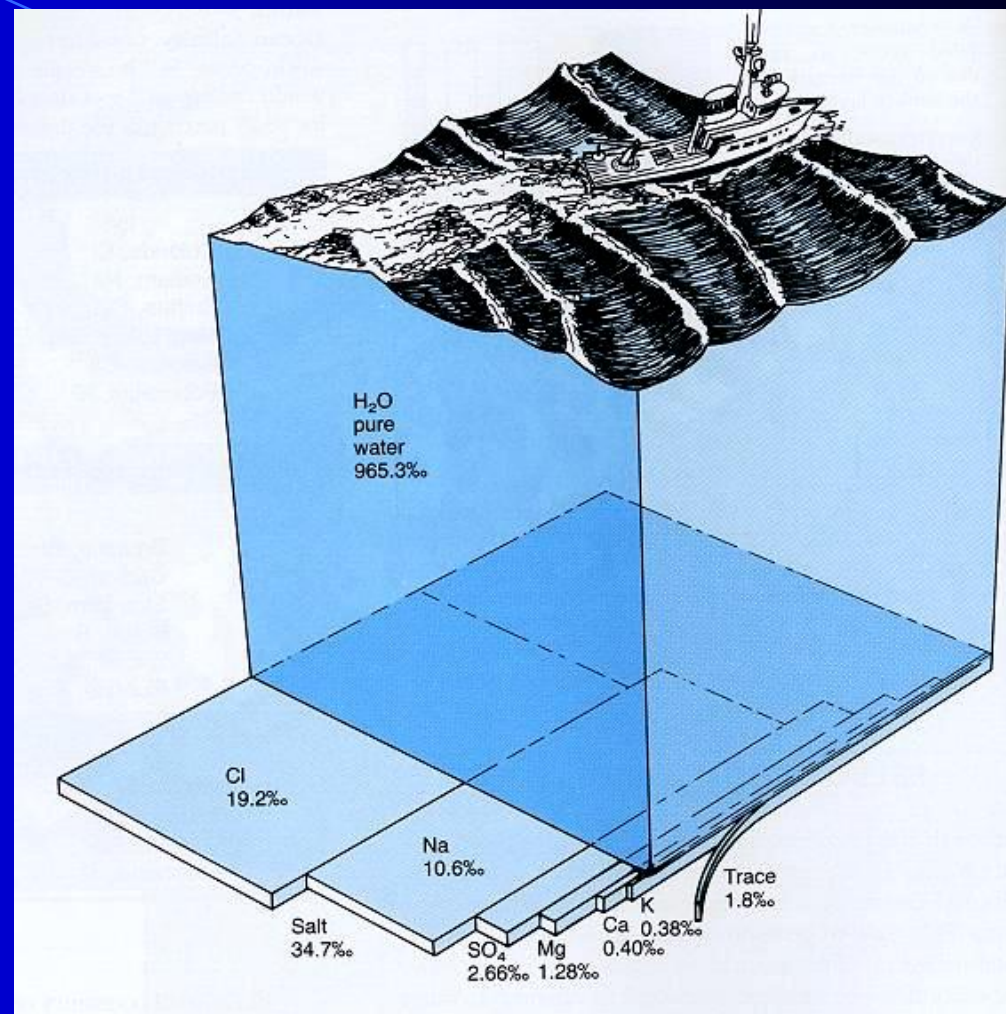
➤紅外線吸收光譜法是利用酒精會吸收特定波長的紅外線，進行酒精的定性與定量分析。

➤導電度法是利用氣態酒精吸附在加熱的N型半導體感測器上時，會改變其導電度的特性，由增加的導電度量可推算出呼氣中的酒精濃度。

➤依據目前道路交通安全規則規定不能安全駕車的標準，呼氣酒精濃度為0.25mg/L，換成血液中的濃度為 $0.25 \text{ mg/L} \times 2100 = 525 \text{ mg/L}$ 。

2. 水中鹽度 (Salinity)

□ 鹽度：將海水中一切碳化物（碳酸鹽）、溴及碘化物等均代換為氯化物，同時將所有有機物完全氧化，則一公斤海水中所含有之固體物質之總克數即為鹽度。



□ 換言之，鹽度係指一公斤海水中含有之溶解物質的總克數。

如何測量鹽度：

- 蒸餾法
- 滴定法—以硝酸銀滴定含氯量

$$\text{鹽度} = 1.80655 * \text{氯度}$$

- 導電法—現在最普遍的方法。量測海水導電度並據此推算鹽度單位：psu (practical salinity unit)

- 鹽水為什麼可以導電？

鹽水可解離出正、負離子，由於離子的移動，造成導線中電子的轉移，即形成電流。因此，觀察小燈泡發光，即知鹽水可導電。

3. 水質健診

- 導電率越高的水質其離子（ion）電解質含量越高。而離子越多則水的污穢度越高，可謂導電度為水的污穢度指標。測試缸中水質的E C值的有效濃度（effective concentration）。
- 藻類滋生的原因
 - 高電導度的水或砂、奇石係為藻類滋生的導因，以致無法育成完美的水草。
 - 藻類是以無機鹽離子做為養分來成長，因此高導電度的水質可說是藻類蔓延的主因。當水中離子濃度高於水草的需求值時，會引起水草的生理脫水現象，有此現象時要以換水來稀釋水中離子濃度，並且停止追加肥料。

4. 生物能測量儀

- 知道如何 去測量所謂的「元氣」嗎？
- 現在已可經由**生物能儀器**檢測出身體的元氣狀況所謂生物能測量儀，就是**測量人體十二經絡位於手足的代表穴位之皮膚導電儀器**，用二十四個穴位皮膚導電度的平均值，來代表人體元氣的多寡；皮膚導電度不僅可以反映人體交感神經的興奮度，也可反映人體應付壓力的狀況。
- 結果發現，正常人的生物能數據是隨著年齡的上升而下降，也就是年紀愈大，元氣愈低；至於主訴疲勞者的生物能數值，則較同年齡正常人低。結果發現「元氣」是隨年齡遞減，與古人認為人體的體力在四十歲後逐漸衰退的說法，不謀而合。
- 研究結果顯示生物測量可以反映人體元氣的多寡，得知氣虛的嚴重度，成為醫師進一步對症下藥的參考。

5. 水耕蔬菜栽培設施監控系統

- 監控系統：自動化水耕蔬菜生產需具備有各項監控系統，監控栽培溫濕度、酸鹼值（pH）、導電度（EC）、溶氧量（DO）、水溫、水位計、流量計等。
- 酸鹼感測器：可偵測養液 pH 變化，pH 過高或過低會使部分元素沈澱，植物因此無法利用而缺肥，酸鹼偏離過多，嚴重者會傷害植物。
- 導電度感測器：利用電解質導電率與濃度的關係來測量養液肥力，因為植物所吸收養液成分是呈無機鹽狀態，經溶於水而被根部所吸收，水溶性無機鹽具有導電能力。
- 溶氧量感測器（DO）：利用電極體、白金與鉛測定溶氧量變化所產生電流而得DO值。
- 其他裝置尚有提供養液運輸的管路、打氣設備、廢液收集與處理系統、管路止流裝置（可防止逆流）、加溫器等。

6. 測謊器的應用

- 測謊機是一種記錄多項生理反應的儀器。所以測謊真正的依據是受測者對於某項事物（如犯罪過程）的關心程度而表現於生理上的反應。測謊機是以三線為主，包括呼吸、心跳血壓，和皮膚電阻。簡述如下：
- 呼吸運動記錄器：人的呼吸狀況會因生理，心理的不同而變化，尤其內心有所抑制（如說謊）時，其變化特別顯著。
- 血壓脈搏記錄器：心臟跳動變化，往往受神經與內分泌的調控，所以可監視此時受試者內心的狀態。
- 皮膚電阻記錄器：當人的腦神經活動時，由於受外界事物的刺激，會使得皮膚表面的導電度改變（其成因可能汗液分泌量，體表電解質，血液循環速度等）相激愈大，變化量愈大（導電度增加），且不能自主的控制此種變化產生。

7. 泌乳牛乳房炎檢測

□ 基礎研究

- 萬一怒、林琮舜、連振昌、陳煥南、徐慶霖。1998。牛乳導電度之量測。畜產研究 31(1)：87~100。
- 連振昌、萬一怒。1999，牛乳導電度檢測門檻值決定之研究，農業機械學刊 8（1）：1~13。
- 連振昌、萬一怒、顏明賢。2003。分房乳成分及導電度檢測泌乳牛乳房炎。農業機械學刊： 。

□ 線上檢測研究

- Lein, C. C., Y. N. Wan. 2003. Performance of an Online EC Measurement System for Dairy Cow Mastitis Inspection. 國際農業工程期刊。
- Lein, C. C., Y. N. Wan. 2003. Detective mastitis for online quarter-milk conductivity of dairy cows using artificial neural network. 農業機械學刊： 。

8. 泌乳牛自動乳量計

- 連振昌、萬一怒。2008。泌乳牛擠乳機械系統自動乳量計之研製，農業機械學刊 投稿審查中。

7. 泌乳牛乳量計檢測

- ❑ 設計目標包括功能正確、構造簡單、清洗容易及能夠結合乳房炎線上導電度檢測等。
- ❑ 研製完成的一部定容積量測的自動乳量計雛型機，乃由一定容積的部分牛乳來計數，量測筒內牛乳必須充滿到一特定位準，電磁閥開啟排出牛乳。
- ❑ 由模擬測試結果分析顯示；適當的電磁閥開啟時間在0.983-1.311秒。由實地測試結果，乳量計的量測功能及清洗功能沒有問題，測試結果可作為生產自動化系統進一步改進的依據。
- ❑ 本系統的研製完成，單一量測儀器可同時包括有乳量與導電度量測，可提供酪農一個經濟有效的生產管理依據。



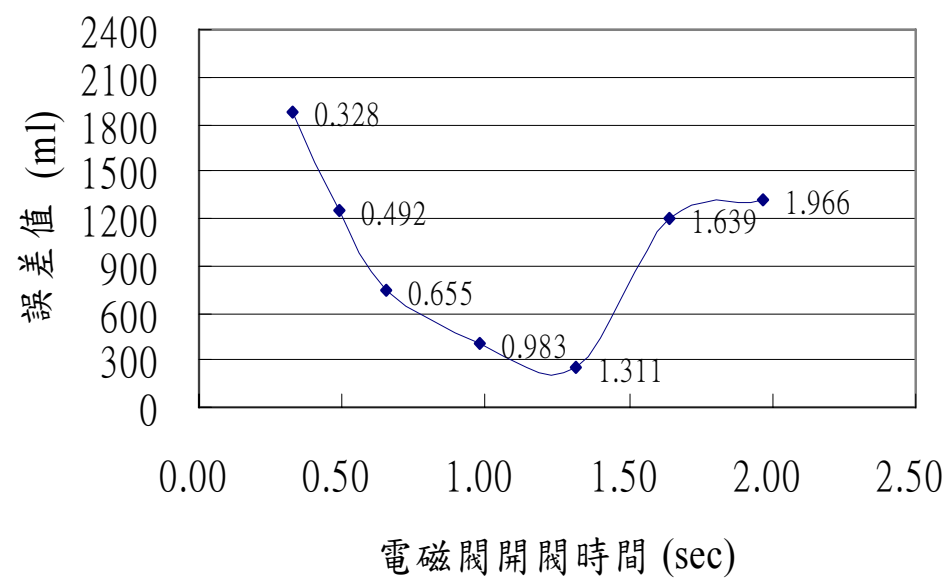
研製之自動乳量計雛型機



自動乳量顯示控制器



自動乳量計雛型機



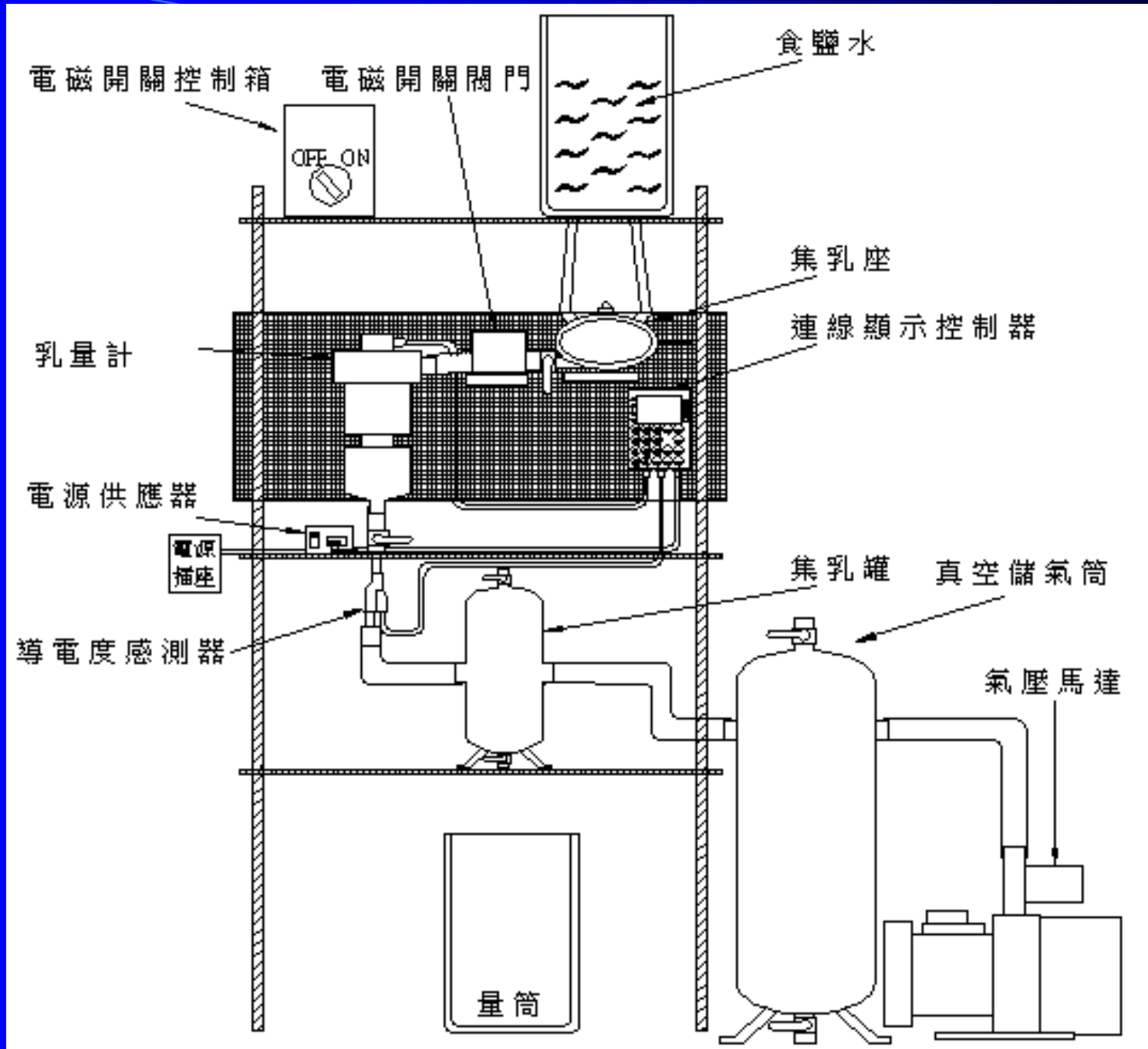
自動乳量計雛型機模擬測試

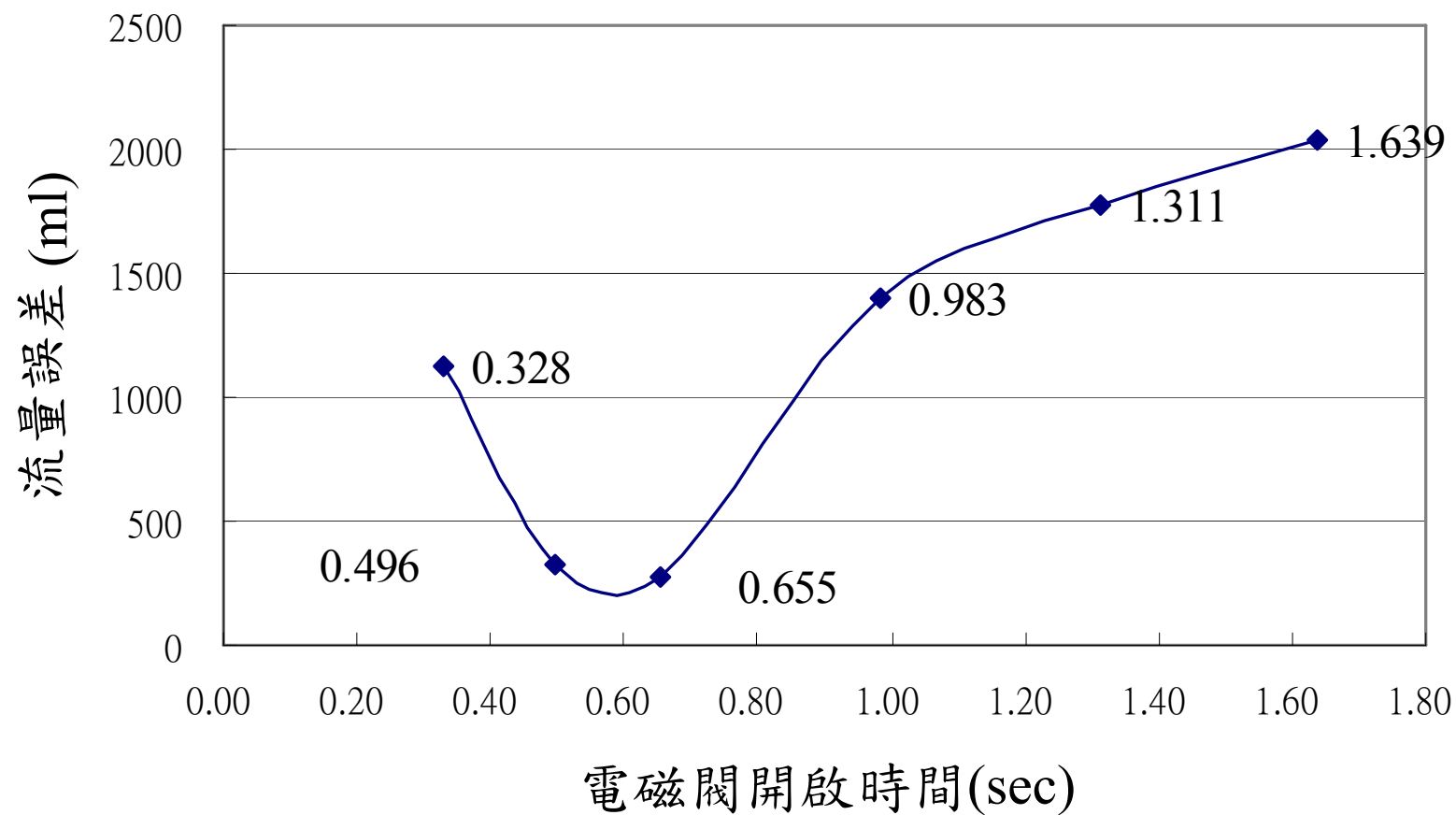
不同電磁閥開啟時間對誤
差值之關係



自動乳量計雛型機裝設於新竹分所擠乳室實地測試

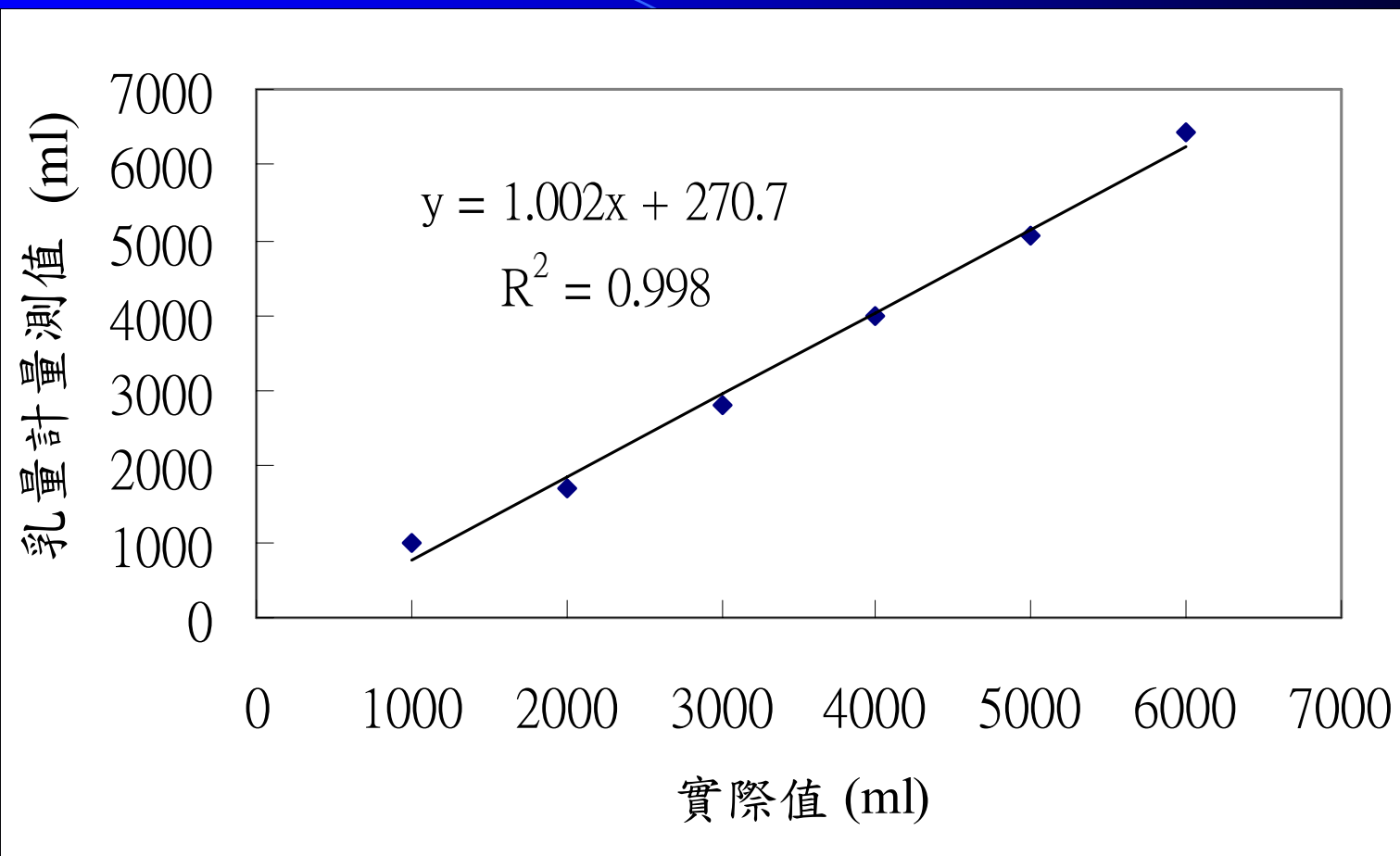




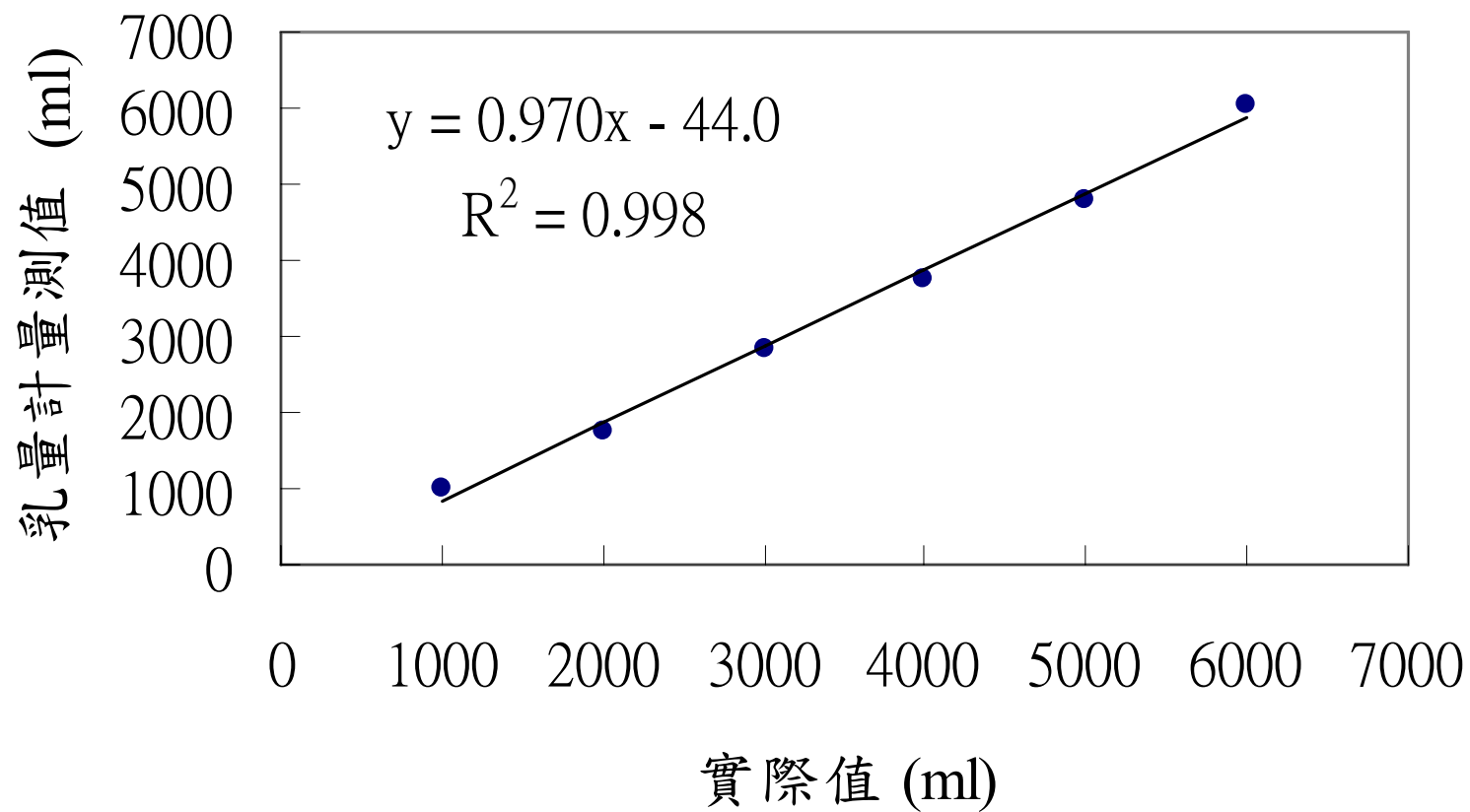


不同電磁閥開啟時間對誤差值之關係

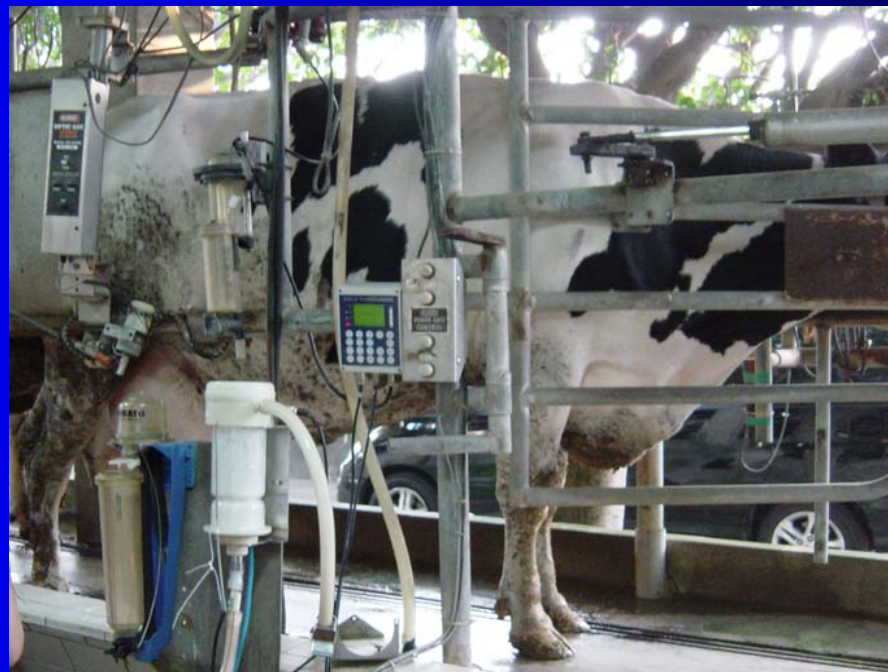




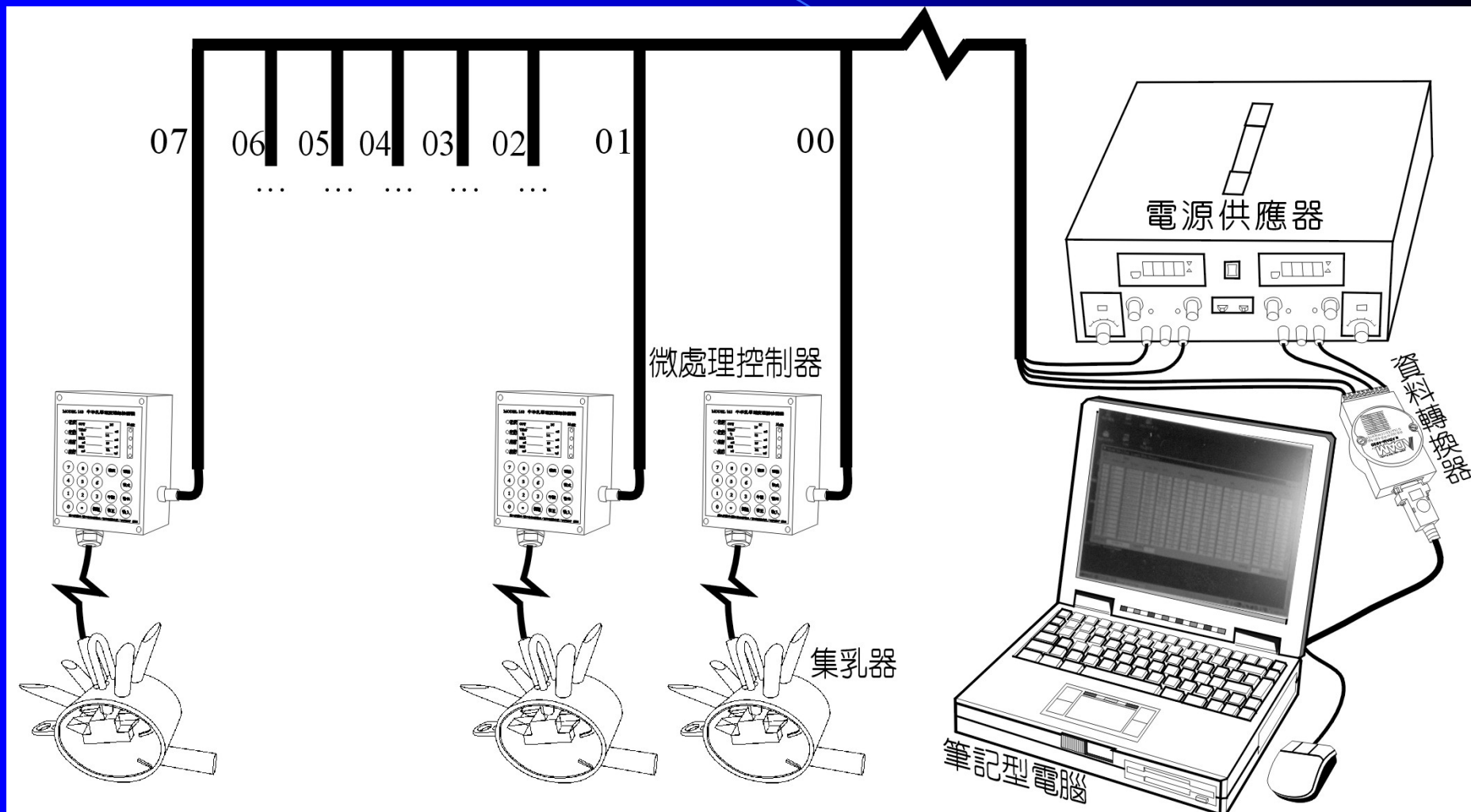
電磁閥開啟時間0.49秒時乳量計量測值對實際值關係圖



電磁閥開閥時間1.311秒時乳量計量測值對實際值關係圖



8.泌乳牛乳房炎檢測





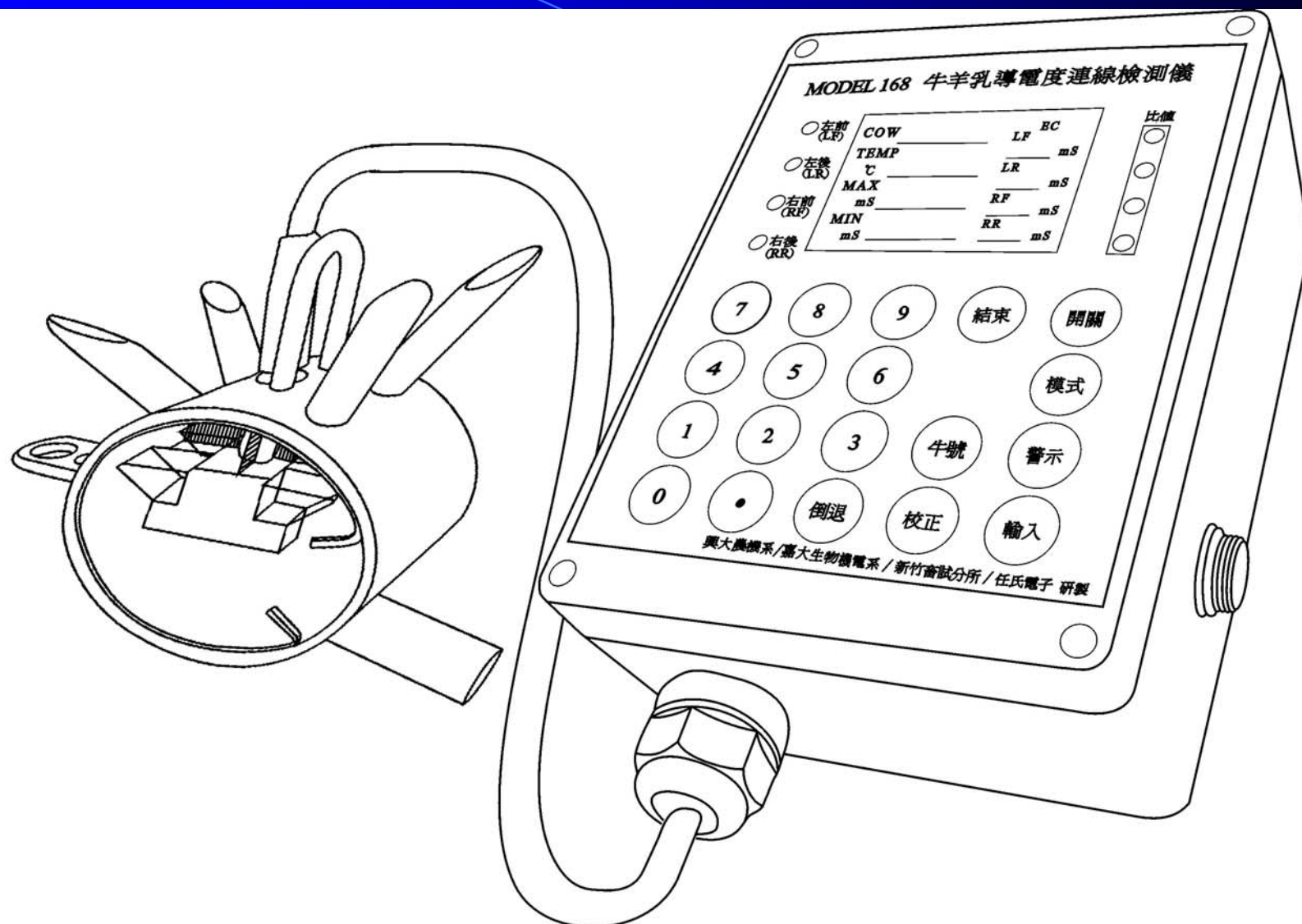






表 1 感測器上各分房電極對不同導電度的鹽水溶液量測統計表

	各分房電極			
	LF	LR	RF	RR
量測範圍 mS/cm	4.6 ~ 7.6			
鹽水溶液數目 N	21			
Average Errors mS/cm*	0.105	0.054	0.918	0.084
Average Relative Errors % **	1.95	1.00	1.60	1.51
相關係數 r	0.999	0.999	0.998	0.995

* Average Errors = $\Sigma (|X_i - Y_i|) / N$, X_i : 不同導電度的鹽水溶液, Y_i : 各分房電極之量測值, $i = 1$ to 4 代表 LF, LR, RF, RR 四個分房.

** Average Relative Errors % = $\{ \Sigma [(|X_i - Y_i|) / X_i] / N \} \times 100$.

資料擷取軟體在單頭泌乳牛擠乳時所記錄的資料

資料數	午別	時間	LF	LR	RF	RR	乳溫	牛號	ECR	SCC	結束鍵	ID碼
1	PM	04:34:16	0.00	0.00	0.00	0.00	24.7	74	1.000	0-30	NO	5
2	PM	04:34:16	0.00	0.00	0.00	0.00	24.5	74	1.000	0-30	NO	5
3	PM	04:34:16	0.00	0.00	0.00	0.00	24.8	74	1.000	0-30	NO	5
4	PM	04:34:17	0.00	0.00	0.00	0.00	24.8	74	1.000	0-30	NO	5
5	PM	04:34:17	0.00	0.00	0.00	0.00	26.9	74	1.000	0-30	NO	5
6	PM	04:34:17	0.00	0.00	0.00	0.06	27.0	74	1.000	0-30	NO	5
7	PM	04:34:18	0.00	0.00	0.00	0.06	28.7	74	1.000	0-30	NO	5
8	PM	04:34:18	0.00	3.99	0.00	0.06	28.7	74	1.000	0-30	NO	5
9	PM	04:34:18	0.00	3.99	0.01	0.06	31.2	74	1.000	0-30	NO	5
10	PM	04:34:18	0.01	3.99	0.01	0.06	32.6	74	1.000	0-30	NO	5
11	PM	04:34:19	0.01	3.99	0.01	4.56	32.5	74	1.140	0-30	NO	5
12	PM	04:34:19	0.01	3.99	0.01	4.65	34.0	74	1.160	0-30	NO	5
13	PM	04:34:19	0.01	4.98	0.01	5.01	34.5	74	1.250	0-30	NO	5
14	PM	04:34:20	0.01	5.19	4.64	5.10	34.2	74	1.300	0-30	NO	5
15	PM	04:34:20	0.01	5.21	4.73	5.10	34.2	74	1.300	0-30	NO	5
16	PM	04:34:20	0.01	5.21	4.77	5.10	34.5	74	1.300	0-30	NO	5
17	PM	04:34:20	5.14	5.21	4.77	5.10	34.7	74	1.090	0-30	NO	5
18	PM	04:34:21	5.15	5.21	4.82	5.10	34.4	74	1.080	0-30	NO	5
19	PM	04:34:21	5.22	5.24	4.98	5.10	34.3	74	1.050	0-30	NO	5
20	PM	04:34:21	5.22	5.24	5.10	5.10	34.8	74	1.030	0-30	NO	5
21	PM	04:34:22	5.24	5.24	5.11	5.10	34.9	74	1.030	0-30	NO	5
22	PM	04:34:22	5.24	5.24	5.16	5.11	34.9	74	1.030	0-30	NO	5
23	PM	04:34:22	5.24	5.27	5.21	5.11	34.8	74	1.030	0-30	NO	5
24	PM	04:34:23	5.24	5.27	5.21	5.11	34.9	74	1.030	0-30	NO	5



表 3. 未感染與感染分房乳導電度之摘要統計

	uninfected quarters SCC < $500 \times 10^3 \text{ cell/ml}$	infected quarters SCC $\geq 500 \times 10^3 \text{ cell/ml}$
No. of quarters	246	62
EC mS/cm [*]	5.50 ± 0.51	6.68 ± 1.25
95% C.I. ^{**}	5.44 - 5.56	6.37 - 6.99

* 平均值±標準偏差 (average \pm s.d.)

** 分房乳導電度平均值的 95% 信賴區間 (confidence interval)

表 4. 未感染與感染泌乳牛分房乳間導電度比值之摘要統計

	uninfected cows SCC < 500×10^3 cell/ml	infected cows SCC $\geq 500 \times 10^3$ cell/ml
No. of cows	33	44
ECR *	1.057 ± 0.043	1.245 ± 0.239
95% C.I. **	1.042 – 1.071	1.174 – 1.316

* 平均值 \pm 標準偏差 (average \pm s.d.)

**分房乳間導電度比值平均值的 95% 信賴區間 (confidence interval)

表 5. 使用不同導電度門檻值檢測乳房炎的結果

EC threshold	5.56 ¹ mS/cm			
	6.01 ² mS/cm			
No. of quarters	uninfected quarters	infected quarters	uninfected quarters	infected quarters
False positive	77	—	41	—
False negative	—	10	—	25
Total	246	62	246	62
Sensitivity %	—	83.9	—	59.7
Specificity %	68.7	—	83.3	—

1. 分房乳導電度平均值 95% 信賴區間之上限值

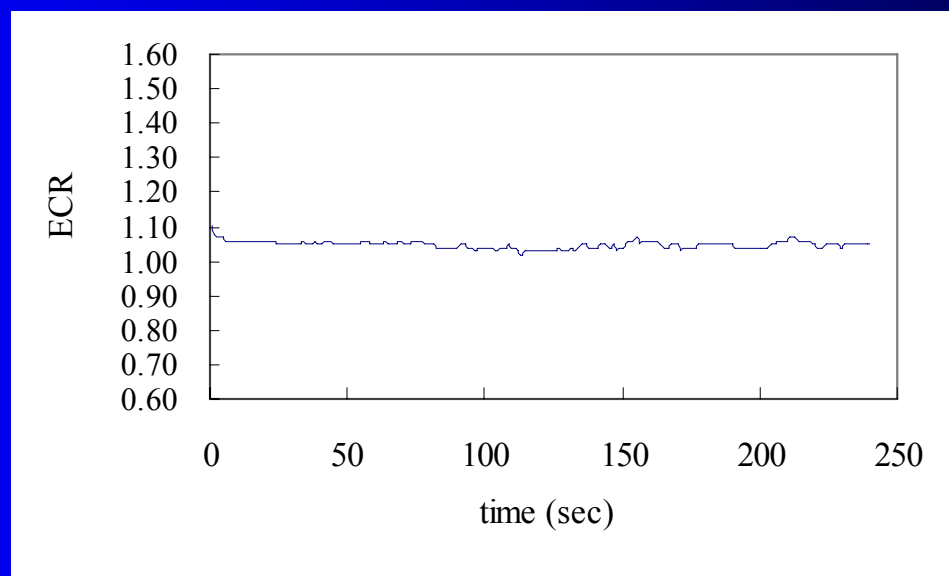
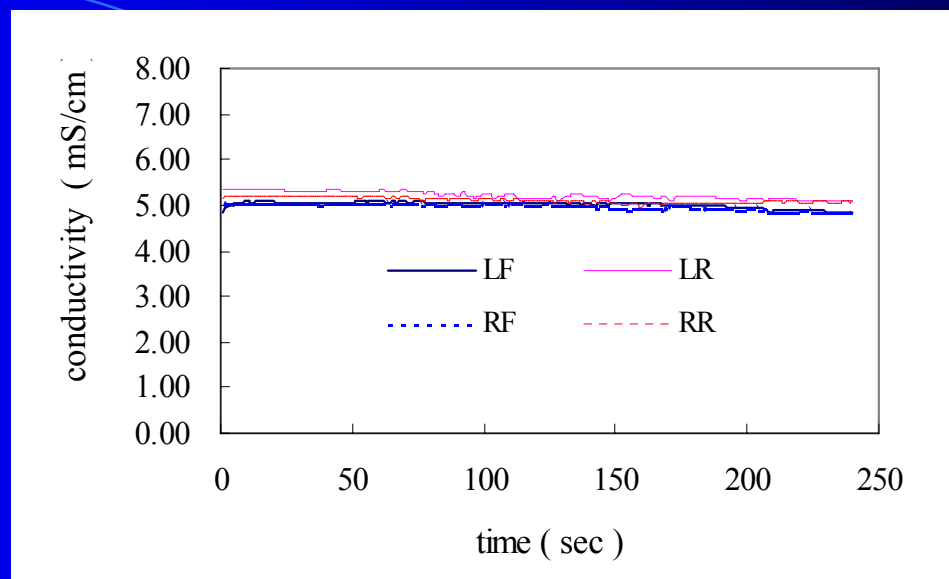
2. 分房乳導電度平均值+標準偏差 (average +s.d.) =5.50+0.51

表 6 使用不同導電度門比值閾值檢測乳房炎的結果

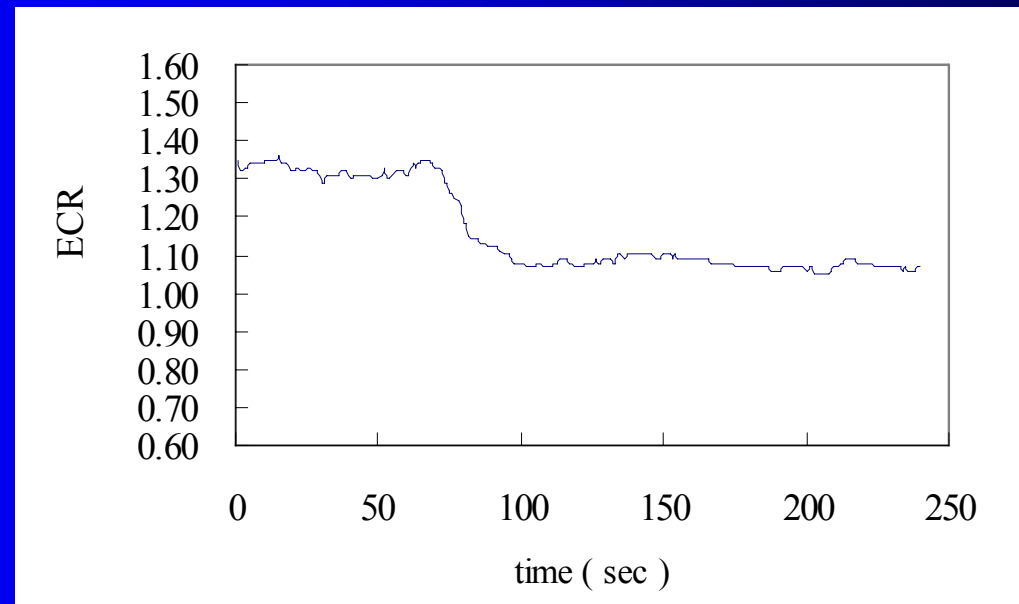
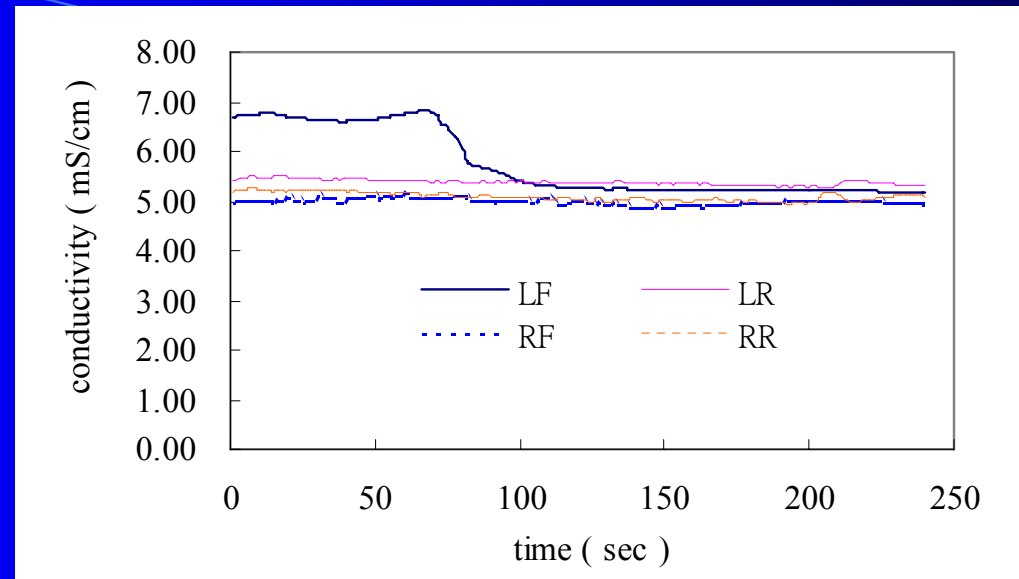
ECR threshold	1.071¹			
	1.100²			
	uninfected	infected	uninfected	infected
No. of cows	cows	cows	cows	cows
False positive	9	—	3	—
False negative	—	9	—	13
Total	33	44	33	44
Sensitivity %	—	79.6	—	70.5
Specificity %	72.7	—	90.9	—

1. 分房乳導電度比值平均值 95% 信賴區間之上限值

2. 分房乳導電度比值平均值+標準偏差 (average +s.d.) =1.057+0.043



典型的未感染泌乳牛各分房乳 EC 及 ECR 變化



典型的感染泌乳牛各分房乳 EC 及 ECR 變化

表 7. 使用導電度門檻值檢測乳房炎的結果

EC threshold	5.56 mS/cm			
	uninfected quarters	infected quarters	total	Predictive
No. of quarters				value %
EC positive ¹	27	6	33	18.2
EC negative ²	140	19	159	88.1
Total	167	25	192	—
Sensitivity %	—	24.0	—	—
Specificity %	83.8	—	—	—

1. EC positive：導電度警告燈號顯示

2. EC negative：導電度警告燈號不顯示

表 8. 使用導電度比值門檻值檢測乳房炎的結果

ECR threshold	1.100			
No. of cows	Uninfected cows	infected cows	total	Predictive value %
ECR positive ¹	7	8	15	53.3
ECR negative ²	23	10	33	69.7
Total	30	18	48	—
Sensitivity %	—	44.4	—	—
Specificity %	76.7	—	—	—

1. ECR positive：導電度比值乳房炎警告燈號顯示

2. ECR negative：導電度比值乳房炎警告燈號不顯示

表 9. 使用導電度門檻值結合導電度比值門檻值檢測乳房炎的結果

EC + ECR threshold	<u>5.56 mS/cm + 1.100</u>	
No. of cows	uninfected cows	infected cows
False positive ¹	4	—
False negative ²	—	6
Total	30	18
Sensitivity %	—	66.7
Specificity %	86.6	—
正確率 %	79.2	

1. False positive：導電度及導電度比值警告燈號均顯示

2. False negative：導電度及導電度比值警告燈號均未顯示

□ 基礎研究

- 萬一怒、林琮舜、連振昌、陳煥南、徐慶霖。1998。牛乳導電度之量測。畜產研究 31(1)：87~100。
- 連振昌、萬一怒。1999，牛乳導電度檢測門檻值決定之研究，農業機械學刊 8（1）：1~13。
- 連振昌、萬一怒、顏明賢。2003。分房乳成分及導電度檢測泌乳牛乳房炎。農業機械學刊： 已接受。

□ 線上檢測研究

- Lein, C. C., Y. N. Wan. 2003. Performance of an Online EC Measurement System for Dairy Cow Mastitis Inspection. AEJ 修正稿中。
- Lein, C. C., Y. N. Wan. 2004. Detective mastitis for online quarter-milk conductivity of dairy cows using artificial neural network. 投稿中。