

醫療輔助系統的設計與實作

以慢性腎臟病評估為核心案例之雙層健康資訊平台

江家寓 指導教授 陳政蓉 · 合作醫師 謝其璧

研究背景與動機

兩個結構性落差

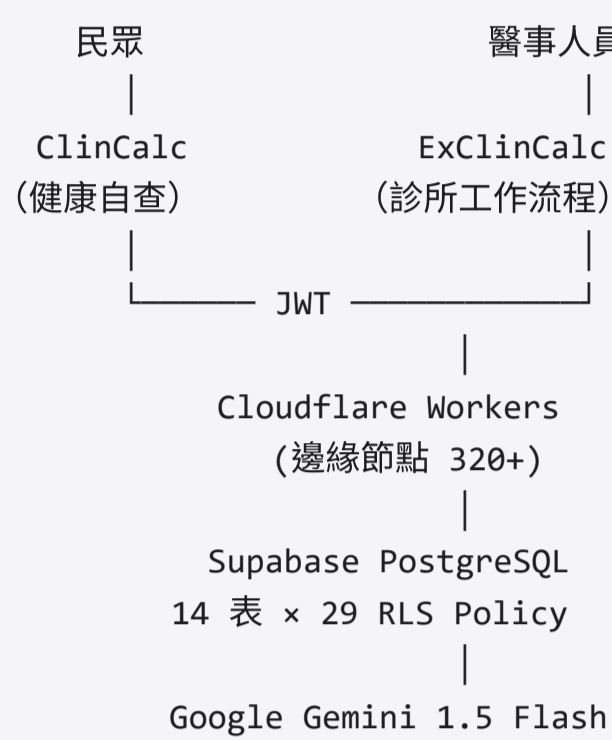
- 民眾端：99.9% 健保覆蓋，但拿到體檢報告看不懂那些數字代表什麼
- 診所端：23,000+ 醫療院所，約 50% 基層診所仍以紙本病歷運作
- 商用 HIS：每年 5,000-25,000 美元授權費，基層診所負擔不起
- 開源 EMR 又欠缺繁體中文與健保架構，無人填補此空缺

研究問題 (RQ)

- RQ1 共資料庫雙層架構是否可行？
- RQ2 LLM 與資料隱私如何平衡？
- RQ3 5-8 分鐘內能完成 SOAP 嗎？
- RQ4 雲端原生能否降低維運成本一個數量級？

系統架構與技術棧

雙層共資料庫架構



技術棧

前端	Next.js 16 + React 19 + TypeScript
樣式	Tailwind CSS v4
DB / Auth	Supabase (PostgreSQL + RLS)
AI 整合	Google Gemini 1.5 Flash
部署	Cloudflare Workers + OpenNext
CI/CD	GitHub Actions
安全	TOTP MFA + RBAC + Audit Logs

核心設計決策

- 權限檢查下推資料庫層 (RLS)，不寫應用層
- AI 採「先查本地知識庫，再交 LLM 解讀結構化結果」
- 邊緣節點部署，月運維成本 < 5 USD

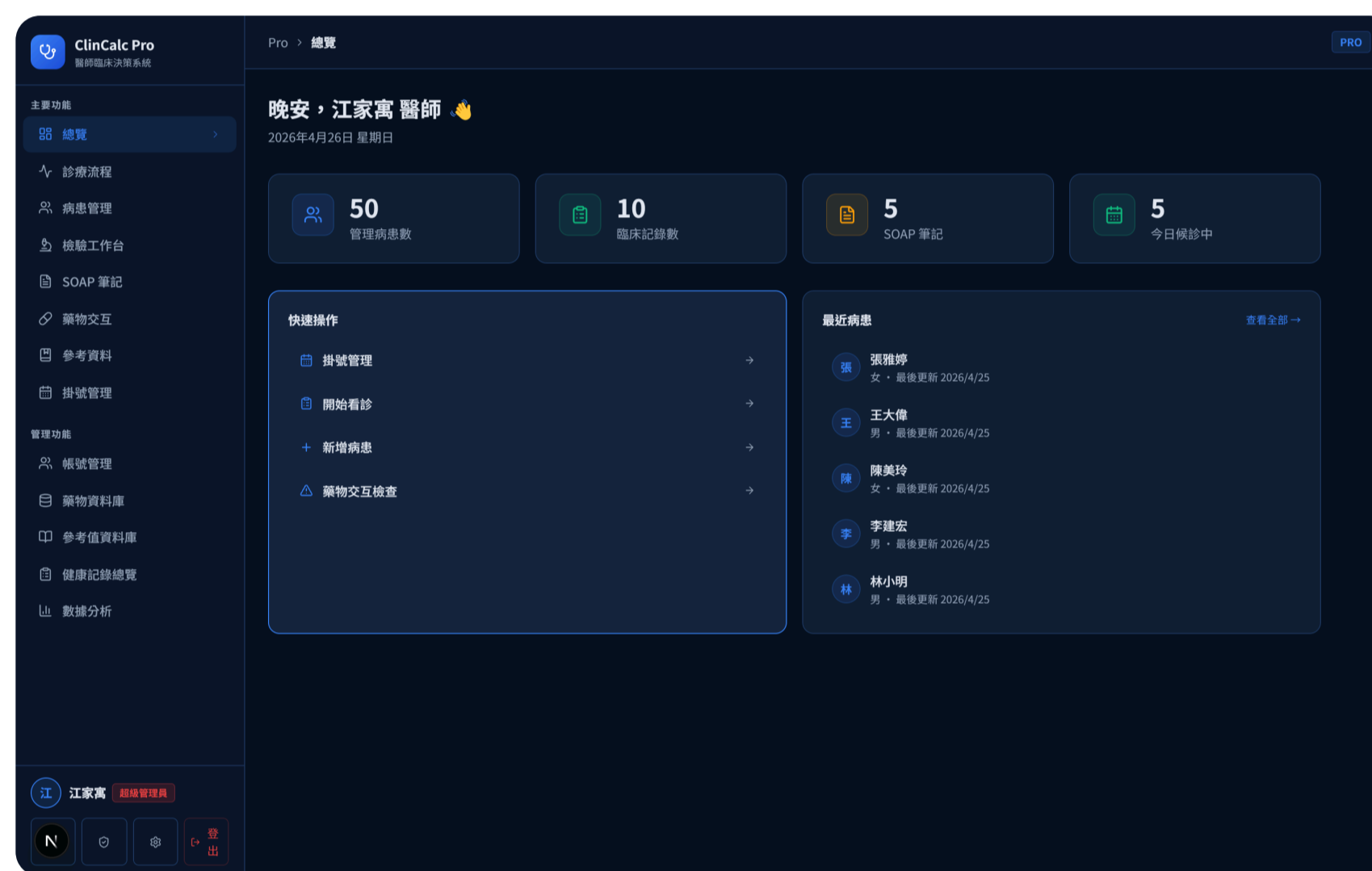
核心功能展示

ClinCalc - 民眾端



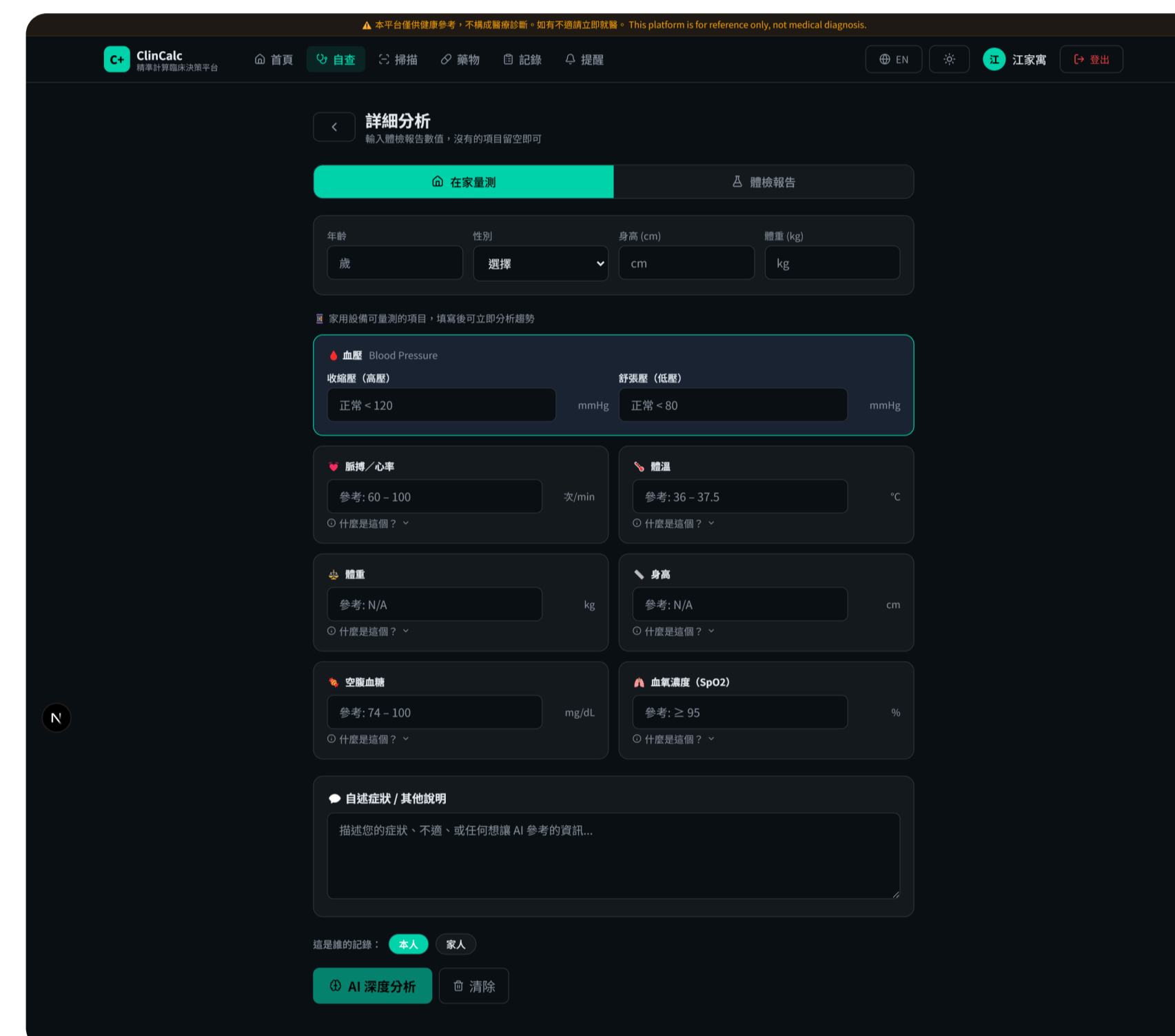
- 互動式身體地圖 (17 區、44 症狀)
- 45 項指標即時判讀
- KDIGO G1-G5 慢性腎臟病分期
- AI 影像 OCR + 中英醫療翻譯
- 離線優先：原始數值不離開使用者裝置

ExClinCalc - 醫事端



- 6 角色 RBAC (醫師/護理師/藥師/行政/管理員/超管)
- SOAP 七步驟引導 + 20 種主訴模板
- 12 組相關藥物交互作用即時警示
- TOTP 強制雙重驗證 + 5 次失敗鎖定
- 完整工作流程閉環：掛號 → 分診 → 診療 → 處方 → 調配

跨應用授權



- patient_consent 一次性權杖
- 病患可主動授權醫師查閱健康記錄
- 預設 7 天到期，到期自動失效
- Audit logs 記錄所有授權與存取
- 病患保有資料主動權

評估結果

100%

10 項測試
功能精準過率

28/28

RLS 安全攻擊
情境全覆

23ms

本地分析
平均回應時間

1.32s

ClinCalc First
Contentful Paint

<5\$

月運維成本
(vs 5,000+/年)

14x29

資料庫 × RLS
細粒度權限

研究貢獻

系統設計層面

雙層共資料庫架構：兩子系統共用 PostgreSQL，透過 RLS 在資料庫層實現跨應用授權與資料隔離；以 patient_consent 一次性權杖實現受控資料流通。

AI 整合策略

知識庫優先 prompt 組裝：原始檢驗數值之判讀於前端 TypeScript 完成，僅將結構化判定結果交由 Gemini 處理；既降低幻覺風險，亦保障資料隱私。

安全模型實踐

資料庫層強制最小特權：14 表 × 29 條 RLS Policy + 6 角色 RBAC + TOTP 雙重驗證 + Audit Logs，符合 OWASP Top 10:2021 主要風險之資料庫層防禦。

成本可行性驗證

三個數量級成本降維：以 Cloudflare Workers + Supabase 雲端原生方案，月運維成本控制於 5 USD 以內，相較商用 HIS 至少便宜 1,000 倍，為基層診所數位化提供可行路徑。

研究限制與未來方向

研究限制

- 健保 IC 卡介尚未實作
- 實體診所場域長期驗證未完成
- 大規模並發效能未應測
- 未取得 IRB 收案於真實病患資料

未來方向

- 接入 NHI 專網與健保藥歷
- 鑑別診斷模組升級為 RAG-based
- 擴充至 ECG / Spirometry 訊號模組
- IRB 審查後實體診所試運合作