

日本製鐵與 JFE 鋼鐵原料業務技術現況

一、前言

隨全球鋼鐵產能過剩、原料價格波動加劇，以及環保要求日益嚴格等挑戰，日本製鐵和 JFE 鋼鐵在原料管理方面採取了一系列創新措施，在原料採購、使用效率等方面的管理經驗尤為值得關注。兩家鋼鐵公司也在原料管理業務積極推進數位轉型，運用大數據、人工智慧等技術提升原料管理水準，通過這些努力，日本製鐵和 JFE 鋼鐵不僅提高了自身競爭力，對相關產業可持續發展亦提供有益借鑒。

二、日本製鐵原料業務/技術^[2]

日本製鐵近年致力於將業務運營轉變為數據驅動的 DX 技術，透過數據連動、優化船舶配置和運輸，推動原料業務改革，其發展方向可分為採購計畫建立、原料配船系統與庫存安全水位/生產計畫配合，對應專利如表 1。

表 1. 日本製鐵原料管理專利

技術分類	對應專利
採購計畫建立	JP6361445 原料採購和使用計劃裝置、方法和程序
原料配船系統	JP7192280 船舶分配規劃裝置、方法及程序 JP7107048 船隊組合設計設備、方法和程序 JP7091982 規劃裝置、規劃方法以及規劃程序 JP6848624 滯期費估算裝置、方法及程序
庫存安全水位/ 生產計畫匹配	JP7091982 規劃裝置、規劃方法以及規劃程序 JP6834717 用於非線性規劃問題的計算裝置、方法和程序 JP6740860 安全庫存確定裝置、方法及程序 JP6613743 安全庫存確定裝置、方法及程序

1. 採購計畫建立

- (1) 背景：日鐵的實務運作上，鐵礦石品牌多達一百多種，輔助原料(砂石、蛇紋石、石灰等)約 10 種，另還有焦炭、煤炭等，而鐵水的穩定生產是鋼廠營運的必備條件，才能確保下道工序穩定運作。
- (2) 目標：適當規劃材料使用、儘可能降低採購和製造成本以及加速決策制定。
- (3) 技術手段：

- **系統建置**——將計畫及實績訊息等數據輸入系統(圖 2，專利 JP6361445)。
 - **設定限制式、目標函數並線性化**——基於計畫訊息，設定生產物的性狀和製造設備能力相關的限制式，並建立用以最小化成本的目標函數，及將所定變數固定後刪除非線性項，形成數理規劃問題。
 - **最適化計算與收斂判定**——求解線性化的數理規劃問題，並計算原材料購買量、使用量、生產物的性狀及生產量。若計算出的值未達到收斂，則將值作為新的固定化變數進行重複計算，直到收斂為止，最後輸出最終計算的原材料購買及使用計畫。
 - **工作流程自動化與評估指標可視化**——通過 RPA（機器人流程自動化）和 VBA（Visual Basic for Applications）的簡單自動化系統構建，實現了快速發佈評價 KPI 的工作流程，該數據可在採購、銷售、技術等相關部門間共享，KPI 評價之實例之一為通過考慮原料市場的變化幅度，相對於某個基準值，可預計未來半年內原料市場影響的預測。在原料市場每天變化的情況下，提高評價 KPI 彙總/發布頻率，可以早期意識到趨勢變化。
- (4) 結果：透過有效管理原材料的購買量及使用計畫，在保持生產穩定的前提下有效降低原材料的購買和製造成本，並將非線性問題進行線性化並進行最適化計算，大幅縮短了計算原材料購買與使用計畫的時間。該新系統除讓部門之間的數據協調提升，透過可視化指標加速決策制定，以及簡單自動化系統建立，數據彙總業務降低 90%。

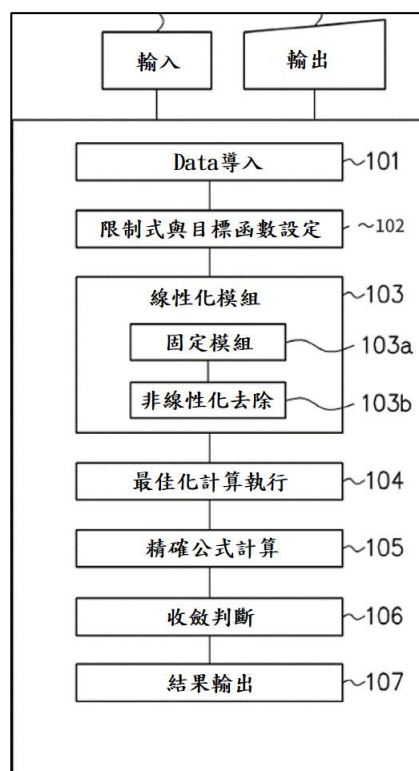


圖 2. 日鐵原料採購計畫架構

2. 原料船配船系統

(1) 背景：為提供客戶高品質產品，製造過程中的原料運輸、生產計畫和物流計畫發揮關鍵作用，因此優化並改進整個公司的生產和物流有其必要性。除考慮船型、船舶數量，及不同卸貨地間的多重因素，針對大量物品如鐵礦石、煤炭等跨國輸送，須更進一步優化船隊組合。

(2) 目標：優化生產/物流作業，提升運輸成本競爭力。

(3) 技術手段：

➤ **配船計畫系統**——系統架構如(圖 3，專利 JP7192280)，系統提取連續航行船到達裝貨港的日期與時間資訊，將未分配船隻(依據即期合約/數量運送契約的船隻)替換後續的連續航行船，根據前述兩種船隻到達時間和最大載重量的差異，系統會選出可以替換的船隻，以達到最佳配船方案。系統還可基於標準船型，制定均等提取、均等到達時間的裝貨港配船計畫。

在替換船隻之後，系統還具備調整計畫的功能，對配船計畫進行進一步的優化。而在制定未安排船隻的配船計畫時，可以保持裝貨港的配船安排不變，以簡化整體計畫過程。

➤ **船隊組合**——基於卸貨地每艘船的到達間隔，和單船卸貨時間分布做計算，再應用排隊理論，根據計算的船舶到港間隔分佈和計算的每艘船卸貨所需時間分佈，將一定時期內的卸貨總量視為常數，計算出各卸貨港每船的卸貨量與滯期時間的關係，並根據其關係設定數學規劃問題，在運費與滯期費之和最小化的目標函數下，求解數學規劃問題並取得船舶組合。

若是再考慮長期計畫中的港口和船舶數量的組合，以及對庫存水準的影響，在計算規模和時間方面，日鐵以制定三個月的船舶分配計畫為例，假設有 10 個卸貨港、3 個品牌、200 艘船舶，則有 10760 種卸貨模式，並且隨著品牌數量的增加，計算量也隨之增大，系統需分為長期決策層，以及一個使用這些決策的結果作為固定資訊的細節優化層(如港口進/離港時間)(圖 4)。

➤ **船舶滯期費估算**——依據船隻屬性/尺寸，其到達率與卸貨量、卸貨量與處理率之間存在相關性，在應用排隊論時，考慮到達率與處理率之間的相關性，計算與一定期間的滯期費相關的指標。滯船估算裝置根據到達和離港的日期時間，利用預定的機率密度函數計算每艘船的裝卸時間分佈、平均時間 α 、標準差 σ 和處理率 μ ，依據排隊理論公式所計算的滯船費如下式。

$$W = \{\lambda / (\mu \cdot (\mu - \lambda))\} \cdot \{(1 + (\sigma/\alpha)^2)/2\}$$

規劃範例甘特圖如圖 5，船在卸貨港船舶現在能夠以更少的滯期費順利進

港。此外，好望角型以上的大型船舶透過提高港卸貨比例，多港卸貨效率將會提高。透過減少倉儲費，可以降低運輸成本。

- **與航運公司系統協作**——日鐵旗下 NS Solutions 與商船三井株式會社聯合開發「Lighthouse」散貨海上運輸之資訊提供平台^[3]，連接日鐵的供需管理系統與 Lighthouse，可不斷更新與海上運輸相關的各種訊息，並進一步還可以將資訊轉換為數據。

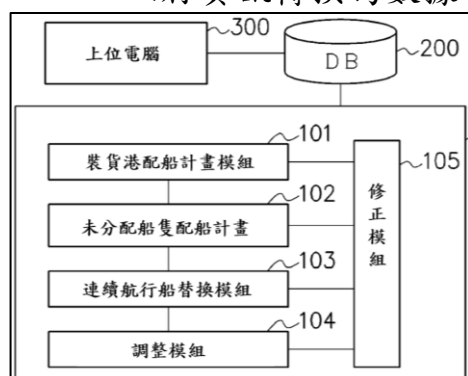


圖 3. 日鐵配船計畫系統

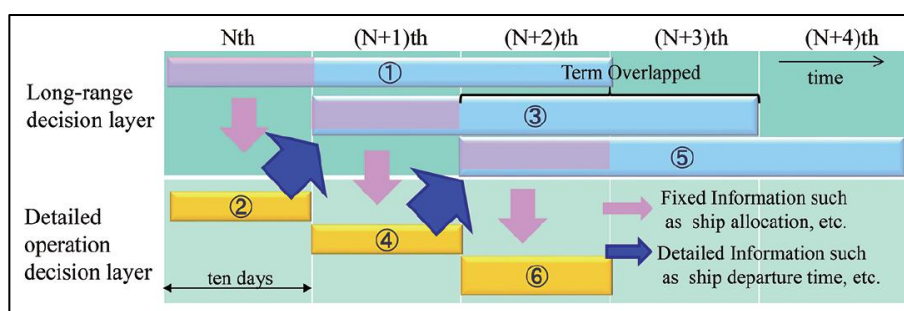


圖 4. 分層時分順序預測演算法概述

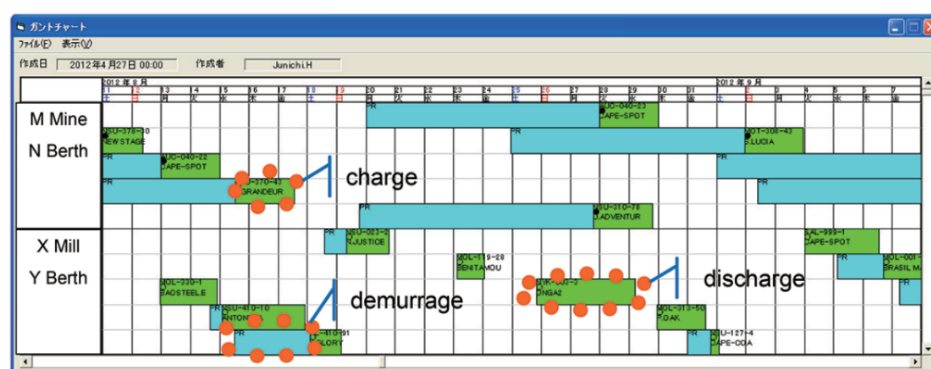


圖 5. 船期立案結果甘特圖

- (4) 結果：平準化船舶到達時間，避免了船舶到港時間集中或不足問題，提升了運輸效率達 10%，並且充分將未分配船隻與連續航行船作動態調整與替換，使運輸費用最小化。更進一步地，系統允許手動調整計畫，使得計畫更符合現實中的船舶運行狀況和變化，從而增強了計畫的可操作性，最後透過設定評估指標，可以應用在規劃工作中，工作量減少了 70%。

3. 庫存安全水位/生產計畫配合

- (1) 背景：在船舶運輸中原料的供應具有時程較長且不穩定的特性，且原料來自多個供應源與多個交付地點，使得原料庫存過多或過少的風險增加，影響生產與供應的連續性，且原料直接涉及煉鐵廠的生產，及複雜的非線性限制條件，在所述的運輸、生產等工序中，需制定期間計畫並定期修正，而檢視或修改計畫需耗費大量人力與時間，故發展非線性規劃問題求解方法技術。

(2) 目標：在保證演算精度的同時，須避免問題規模過大，造成人力與時間投入不符成本。

(3) 技術手段：

- **安全庫存設定**——將多個交貨點視為一個整體，計算總體交貨間隔的概率分佈，所有交貨地點的交貨間隔的概率分佈為第一概率分佈，計算各交貨地點的交貨間隔的概率分佈為第二概率分佈，係使用指數分佈或伽馬分佈來擬合交貨間隔分佈。平均交貨率作為隨時間變化的函數進行模型化，前述函數為指數傅立葉級數，各交貨地點的到達間隔的概率分佈進行模型化示意如圖 6(專利 JP6740860)。
- **煉鐵廠生產計劃**——特色為以層級結方式輸出計劃，實施例如圖 7(專利 JP7091982)，將立案期間作為第一階層，前提條件作為第二層，具體立案計劃作為第三階層，置於前提條件的下一層，接著將立案計劃與對應的立案期間和前提條件關聯並輸出，最後將不同立案期間的計劃分別放置在各自的立案期間下層，通過層級結構的顯示，使人員能直觀理解不同計劃之間的關係。

在計畫的前置資訊蒐集結果做為第二階層的前提條件，原料性狀資訊為短期內變化不大的訊息，屬於主資訊，而採購單價資訊和生產資訊是每次創建計劃時都會變化者，被歸類為變動資訊，再者購買金額上限限制資訊和財產限制資訊被分類為限制資訊，另，目標函數資訊為獨立存在，但仍與其他變數相關聯，如在制定生產計畫時，原料的購買單價將直接影響目標函數的設定，如下式所示，cost_r 代表原材料 r 的單位購買成本。

$$\text{目標函數：} \min \sum_{r,i} (\text{cost_r} * X_{ri})$$

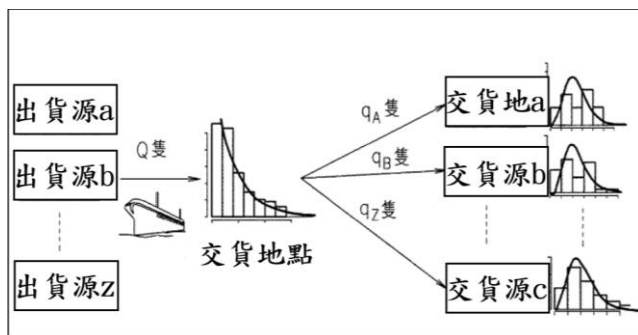


圖 6.各交貨地點的到達間隔的概率分佈

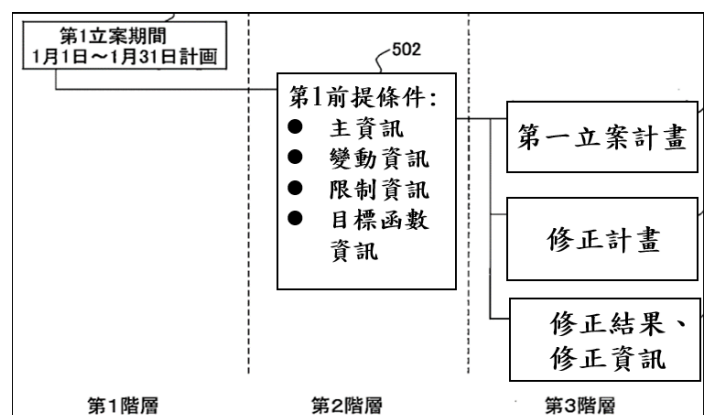


圖 7. 以層級結方式輸出計劃

(4) 結果：對於從一個或多個發貨源向多個配送目的地配送的物品而言，即使從訂購到配送的前置時間很長，並且在不穩定的條件下，也可以適當地確

定所需的安全庫存。

另外在生產計畫上，結構化輸出計畫各階層條件的從屬關係，有更為直觀與系統化的功效，且良好視覺效果有助於快速比較同一立案期間下不同前提條件產生的計畫，便於操作員進行計畫修改。

三、JFE 鋼鐵原料業務/技術^[4]

2021 年 JFE 發布廠內鐵原料物流系統，尤其是針對鐵礦石，而不同產地鐵礦石品質與成分各異，為了使料場高效運轉，需要將同種鐵礦石堆積在一起，並減少料堆的堆放數量，以維持料場營運效率和穩定性。

該系統協助分配和儲存鐵礦石，為料場制定幾個月的最佳營運計畫。在確保穩定營運的同時，顯著提高了物流效率，其對應專利如表 2。

表 2. JFE 原料管理專利

技術分類	對應專利
混料	JP7522995 物流模擬器裝置、作業計畫製作方法及鋼鐵廠作業方法 JP7444086 規劃裝置及規劃方法
原料配船系統	JP2024049243 船舶分配計畫製作方法、操作方法及船舶分配計畫製作裝置 JP7235174、JP6904373 船舶分配計畫創建方法、使用該方法的操作方法以及船舶分配計畫創建裝置 JP6468235 船舶配置計畫製作方法、煉鋼廠作業方法以及船舶配置計畫製作裝置
料場營運	JP7375781 規劃裝置及規劃方法 JP6777040 規劃裝置及方法

1. 混料

- (1) 背景：在鋼鐵業中，需要將多種不同性質的鐵礦石、煤炭等外購原料混合，使混合後的品質和性能在一定範圍內，以滿足高爐生產運行所需的性狀要求。然混料需要考慮成本、庫存等多種因素，制訂計畫存在計算量大、收斂慢的問題，也無法應付實際作業上的順序頻繁調動。
- (2) 目標：提升計算速度，提高計畫製作的效率與穩定性。
- (3) 技術手段：

- **優化原料計劃**——將原料混和計劃的對象期間分為多個區間，再對每個區間設置不同的混和率變動限制，如近期區間限制嚴格、遠期區間限制寬鬆。接著將問題轉為數學優化問題，在滿足高爐生產必需條件前提下，最小化成本來決定不同原料品牌的混料作業，應配合的因素包含：混和後之原料性狀、各原材料庫存上下限、操作條件、成本最小化目標，以及混和率變動限制，具體實施計算(專利 JP7444086)如下式所示。

最小化總成本： $\min f(x)=\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}$

每個期間總配合量： $\sum_{i \in I} x_{ij} = N_j \forall j \in J$

各原料品牌庫存限制： $0 \leq x_{ij} \leq s_{ij} \forall i \in I, \forall j \in J$

配合後原材料的性狀限制： $C_{bottom} \leq \sum_{i \in I} d_{ij} x_{ij} \leq C_{upper} \forall j \in J$

配合率變動限制：

$|x_{i,j+1}/N_{j+1} - x_{ij}/N_j| \leq C1 \forall i \in I, j=0,1,2,\dots,n \in J$

$|x_{i,j+1}/N_{j+1} - x_{ij}/N_j| \leq C2 \forall i \in I, j=n+1,n+2,\dots,m \in J$

$|x_{i,j+1}/N_{j+1} - x_{ij}/N_j| \leq C3 \forall i \in I, j=m+1,m+2,\dots \in J$

- **導入物流模擬器**——物流模擬器獲取設備配置、入貨計畫、庫存資訊、庫存放置計畫和生產計畫等資料，可即時監控庫存的變化，當系統檢測到庫存量低於設定的閾值時，系統會生成緊急出庫任務(專利 JP7522995)。該些任務優先於正常的出庫任務進行處理，確保生產不受影響，系統根據庫存量的變化，動態調整出庫任務的優先順序。如，當系統檢測到某些材料的庫存量即將耗盡時，會暫停當前非緊急任務，並將緊急任務插入執行佇列中，確保關鍵材料及時補充到位。

另一方面，系統支援同時處理多個物流任務，會通過在不同的物流路線之間分配任務來避免資源衝突。例如，在多個任務需要同一條運輸線路時，系統會根據任務的緊急性和庫存需求來調整執行順序，若出現庫存不足的預警，系統會發出警報並在下次執行任務時優先處理庫存補充。簡言之，系統除追蹤當前庫存量，另根據庫存趨勢預測未來的需求，以利提前生成補充任務，避免突發性的庫存緊缺問題。

- **建立混和模型**——JFE 實際操作例中使用鐵礦石計 20 多種品牌，在滿足庫存穩定、燒結強度、爐渣流動性等限制的情況，制定計劃涉及複雜計算，其混和計畫如圖 8。故 JFE 以兩步驟法開發混和模型，首先將非線性變數設為常數並作為線性規劃問題求解，然後使用元啟發算法搜尋常數變數以改進所獲得的解決方案的評估函數。前述元啟發算法應用了粒子群最佳化 (Particle Swarm Optimization, 下稱 PSO)，PSO 具快速收斂、優異的可維護性和靈活性，群體中粒子在相互共享資訊的同時探索空間，是一種利用資訊搜尋解的方法(圖 9)。

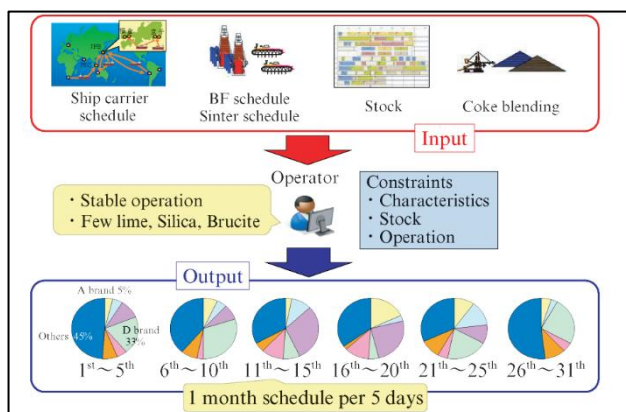


圖 8.鐵礦石混和計畫概要

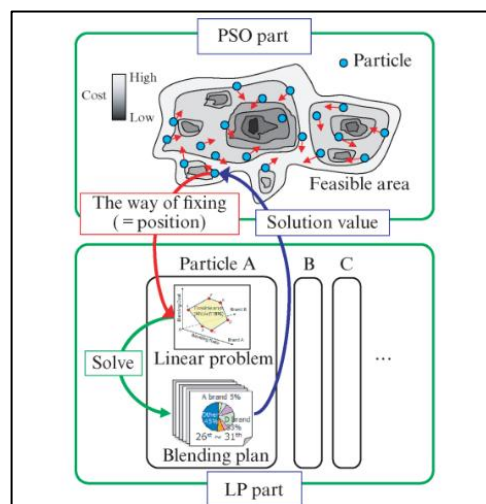


圖 9. 混和模型演算

- (4) 結果：藉快速計算，大幅提高了計畫製作的效率，有效應對如鐵礦石混和計畫中的複雜非線性變數問題，並保證近期計畫穩定，也為遠期計畫提供了更多靈活性，且計畫的再計算和修正有更大空間，對外界變化可迅速響應，有助於成本節約。導入物流模擬器則可管理目較多的複雜物流系統，動態調整各種原料的庫存量，避免資源衝突或過度補充原料，造成效率低下情形。

2. 原料船配船系統

- (1) 背景：在原物料船舶調配作業中，需制定既符合原料穩定供應又滿足運輸成本最小化的最優船舶調配方案，同時考慮泊位等設備限制。然與運輸相關的約束很難制定，並且手動創建最佳計劃的能力受到限制。此外，若計算方法為詳盡，則候選計劃的數量相對於要確定之變量的數量呈指數增加，即使在超級計算機上這也會花費大量的時間。
- (2) 目標：在系統開發上，利用最佳化技術的調度引擎來有效支援規劃操作，有效降低運輸成本。
- (3) 技術手段：
- **創建航行模式**——係計算每個卸貨港所需卸載量的處理，依據前述計算結果，確定航程模式中各裝貨港的裝載原料及裝載量、各卸貨港的卸載原料及卸載量，以及船種(專用船、現貨船、雇傭船等)，並創建多個臨時航程模式，並從這些航程模式中，依據原料庫存與目標庫存量的偏差、雜質成分的上下限的過多或不足以及運輸成本，選擇適合之航程模式。

具體實施如圖 10(專利 JP 2024049243)，本計畫係考慮現貨船(スポット船)之卸貨配船時間表，每艘船型大小於括號內標出，簡化航線於船名上方，橫線表示船舶停靠在左側標註之卸貨港(揚地)，線上亦標註卸貨的礦石種類

和數量，簡言之，本計畫考慮了多港口、多原料種類、不同船型、不同卸貨時間等多方面因素的配船方案。而專用船未見於本實施例可能在於其長期合約性質，調度相對固定，故於實施例中省略。

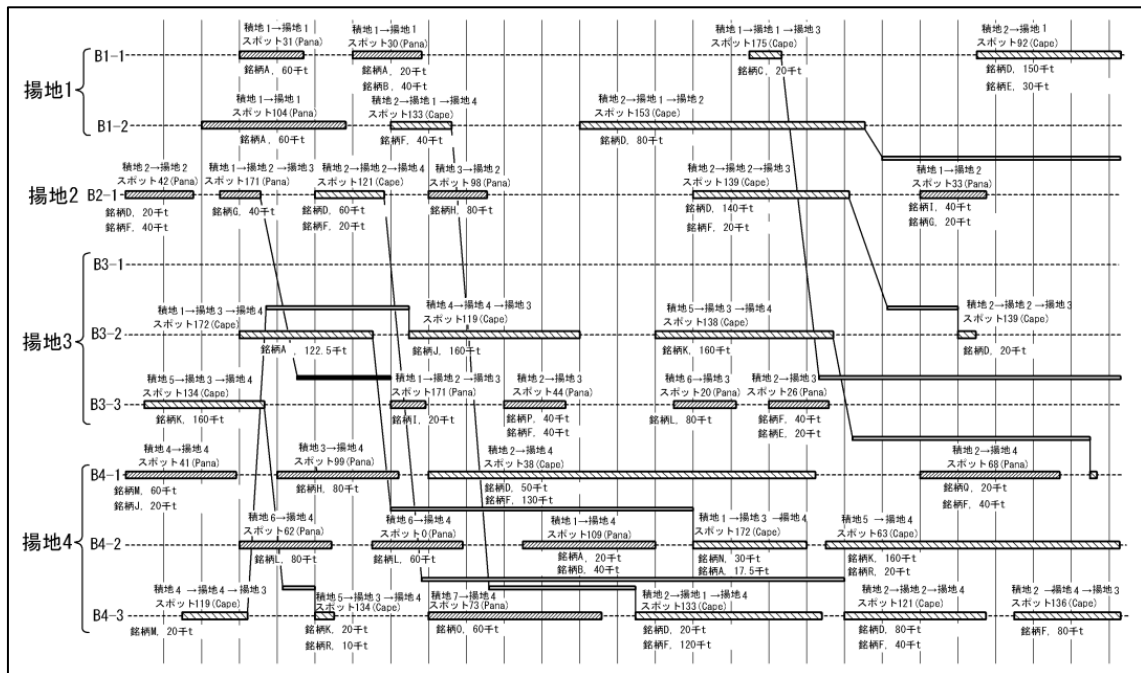


圖 10. 配船計畫實施例 (積地：裝貨港、揚地：卸貨港)

- 根據庫存狀況及運輸成本來選擇配船模式——原 JFE 發展技術係根據裝貨港及卸貨港的泊位和卸貨港的料場限制，進行船舶運行的模擬，以最小滯船費用進行函數優化，考慮諸多補償關係和貨物裝卸效率的變化，船舶分配調度程式引擎透過重複運行模擬來改進計劃(圖 11)，引入多種處理加快計算速度，如，a.使用 GRASP 方法產生初始計劃，並從良好的初始計劃開始執行搜尋、b. 以禁忌搜尋(Tabu search)用於反覆運算改進以避免停留在局部解決方案上、c. 並行模擬處理。另 JFE 亦開發對話式互動式更改計畫功能，針對難以使用引擎進行定量處理的情境，如天氣因素(圖 12)。

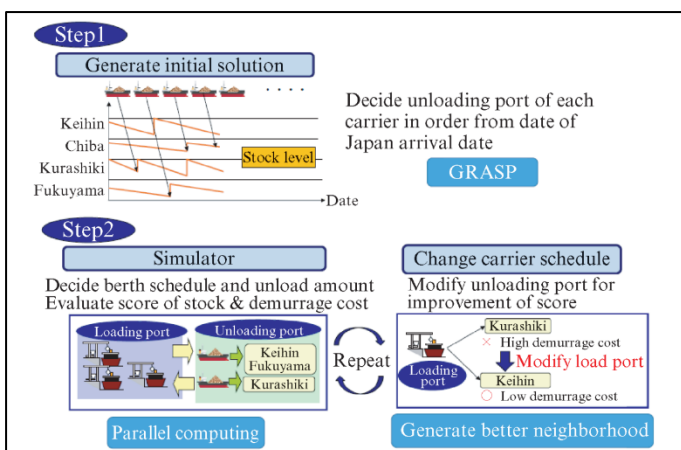


圖 11. 原料船調度演算

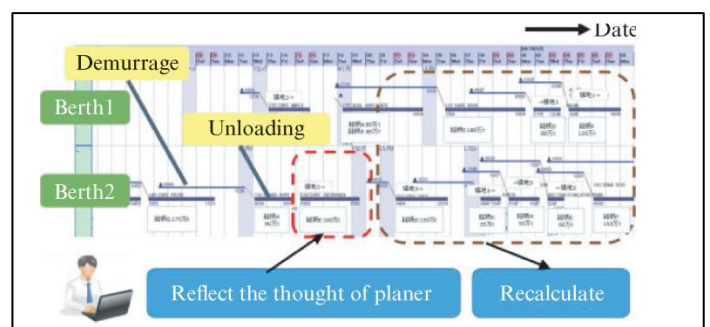


圖 12. 互動式調度程序

- **優化船隻、貨物和泊位組合**——JFE 所發展的配船模式，亦有不須使用模擬、不考慮船舶運輸限制，而是根據庫存上限和下限的過剩/不足以及運輸成本來選擇船舶分配計畫中使用的模式，基於計算結果，制定包含各裝貨港和卸貨港原料及數量的臨時航行模式，並再基於臨時航行模式創建多個航行模式，並從中選擇最佳的用於配船計畫，前述臨時航行模式可以靈活地調整，以適應不同的限制條件和目標函數。

實施例之一如圖 13 專利 JP6904373)，粗黑線段表示船舶在碼頭裝卸貨的時間段，細線段表示船舶等待靠岸的時間，虛線則表示船舶在不同卸貨港口之間移動的時間，計畫考慮多港口裝卸貨狀況，同一艘船可於多個卸貨港卸貨，船舶的裝卸貨時間沒有重疊，避免碼頭資源衝突，在碼頭不可使用期間，則不安排船舶作業。

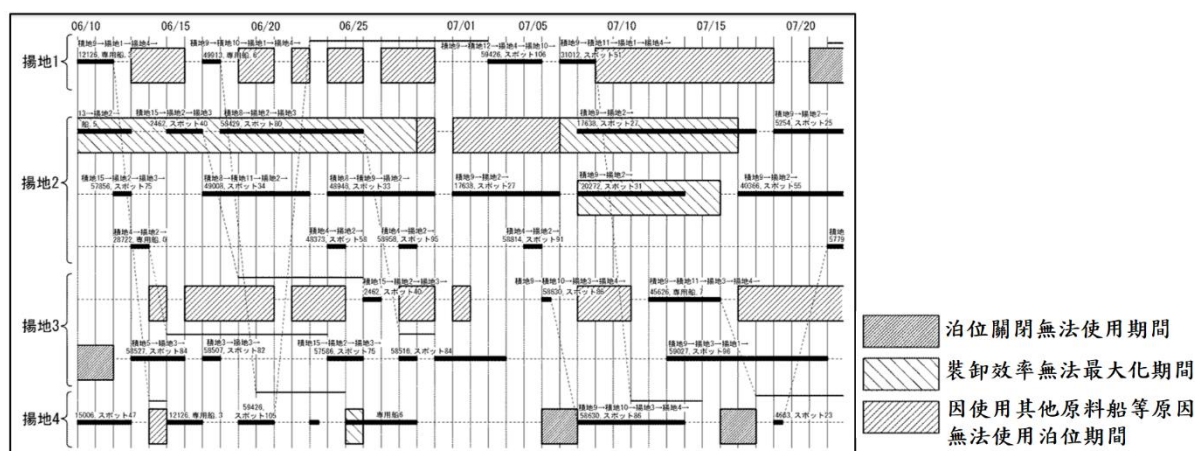


圖 13. 配船計畫實施例

- **中轉站混和新品牌原料**——透過中轉站規劃船舶調配，可以在中轉站對多個卸貨港所需的品牌作管理和整合，使多個卸貨港各自的庫存管理更加容易，減少滯期費的發生，實施方式可透過混合整數規劃法、元啟發算法等獲得最佳解。若再以大型船一次可以運送 24 萬噸礦石為例，雖然大型船無法進入卸貨港，但由於其每噸貨物的運輸單價較低，所以用大型船運送到中轉站可有效降低租船費用，同時通過中轉站可對原料品牌的集約，有節省成本功效。
- (4) 結果：配船技術開發係為保證原料穩定供應到卸貨港，又能最大限度地降低運輸成本，同時考慮到倉儲能力的突然波動和庫存變化，具體成果包含將 6 個月的長期計畫的計算時間加快到 5 分鐘，JFE 公開資料顯示離線驗證下，確認了多港口卸貨作業次數減少 6% 的效果；此外，將原料用大型船運送到中轉站的作法，亦將租船費用降低 11%。

3. 料場營運

- (1) 背景：料場營運需考慮配船、卸貨、當前各料場狀態、庫存量給定、路線切換等情況下(圖 14)，最大化料場效率，且料場布局允許同時接收和卸料，還需考慮空間利用率，當涉及到持續超過一個月之長期計劃時，料堆布局組合的數量會爆炸式增長，因此制定最佳的料堆配置變得極其困難。

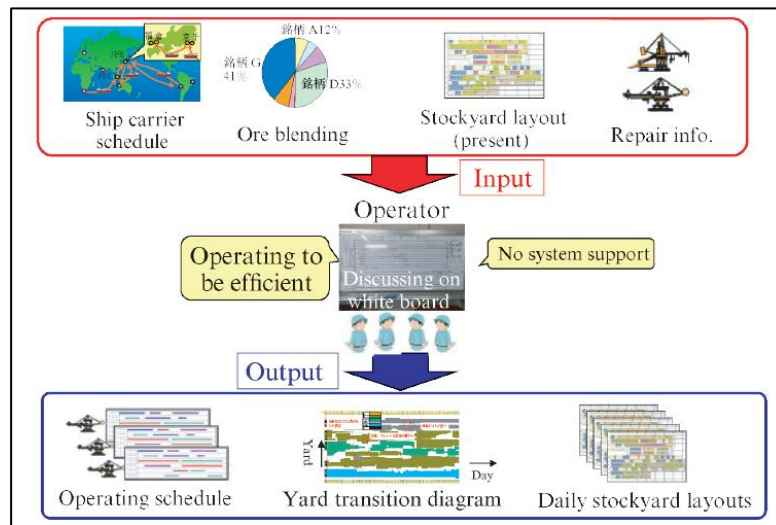


圖 14. JFE 的料場規劃概要

- (2) 目標：料場之堆料配置最佳化，提高空間利用、並配合長期計畫順利制定以及降低相關成本。
- (3) 技術手段：

- **料堆配置最佳化**——傳統料堆布置的做法係將不同品牌原料分開放置，專利方法則允許不同類型的原料重疊放置在料場相同位置。實際進行空間運算時，原料布置如圖 15(專利 JP7375781)，其具 x、y、z 三維的位置和數量資訊，再將料堆的橫向方向庫存量作累加，進行從三維資訊轉換成二維資訊的降維處理(圖 16)，簡化資訊同時仍保有制定生產計畫的關鍵數據。

圖 17 與圖 18 為原材料入庫前後的狀態變化，為料場 102 的寬度方向觀察原料料堆的情況，縱軸代表堆高，此視覺化方法已經過資訊維度簡化後的二維表示，而非原始的三維資訊；兩圖顯示料場 102a 與 102b 的情形，欲入庫的原料包括 4000 噸的品牌 A 與品牌 B、10000 的品牌 C，系統將 4000 噸的品牌 A 安排於 102b 之「番地 1」，4000 噸的品牌 B 安排於 102b 之「番地 2」，10000 的品牌 C 則是一半置於「番地 1」，另一半至於「番地 2」，如此一來料場 102a 與 102b 的相對應的料堆大部分的原料持有率可趨近一致，如此本原料計劃不需要單獨管理不同類型的原料，相較於傳統不同的原料需間隔布置，屬於較高效的方法。

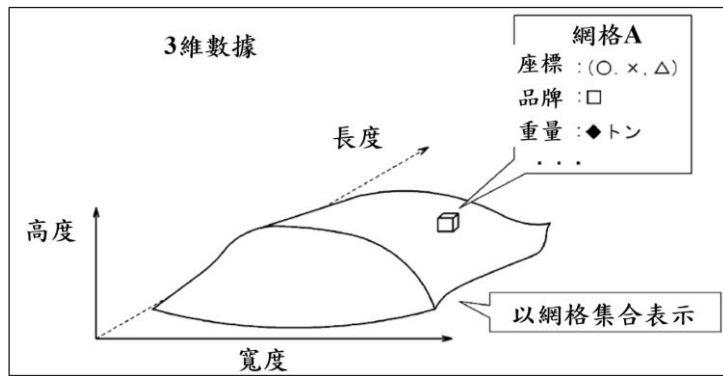


圖 15. 實際料堆三維數據

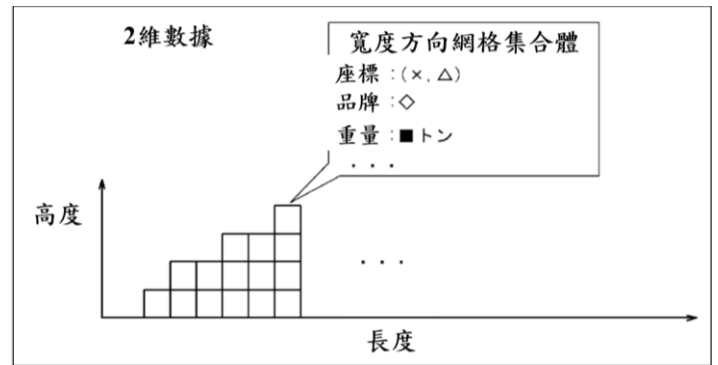


圖 16. 降維處理後之料堆數據

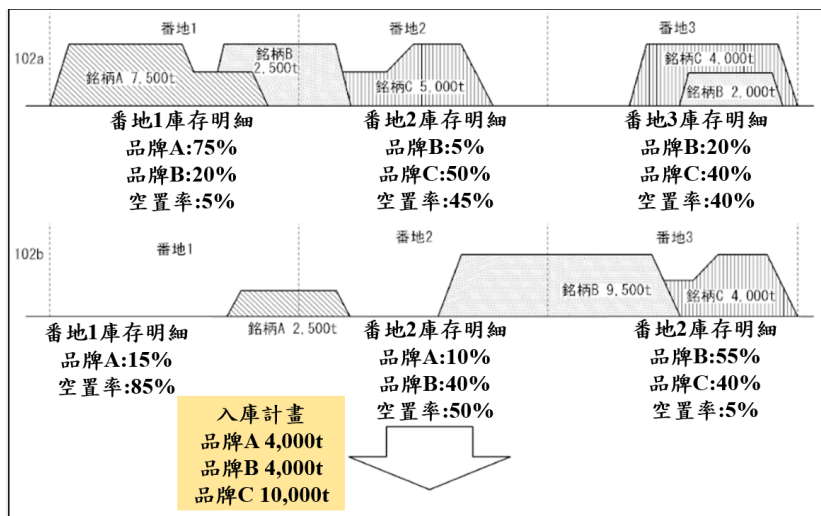


圖 17. 原料未入庫時之料場狀況

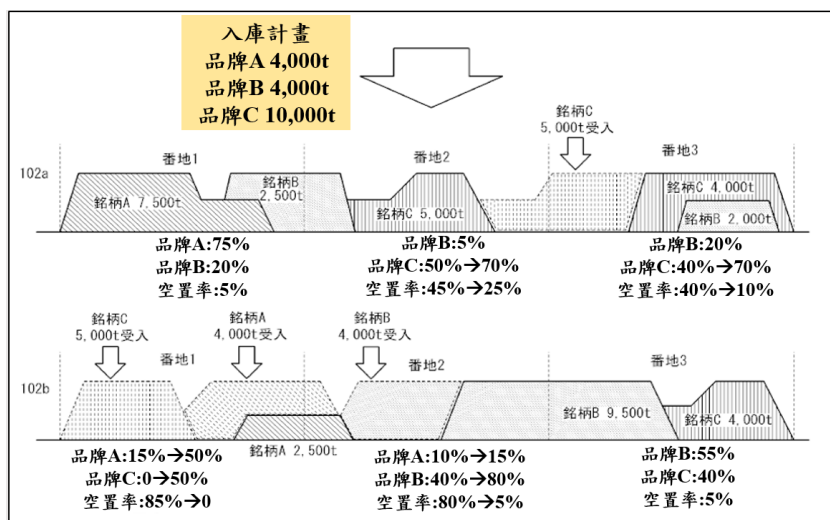


圖 18. 原料入庫後之料地配放原料情形

- **料堆配置最小化**——係基於原料的接收和發放數據制定混料計劃，再依據混料計畫制定料場配置計畫，如圖 19(專利 JP6777040)所示，在第 n 天，有原料 500 需要接收入庫，系統從料場中選擇了 3 個可能的接收空間 A、B 和 C，並分別模擬將原料 500 放入其中的情況，然後推演後續 4 天的料場狀況。

而在第 $n+1$ 天，另一批原料 501 需要接收，對於每種第 n 天的放置方案，會選擇一個最合適的空間來放置原料 501。整個過程會一直持續到第 $n+4$ 天，形成 3 種不同的 5 天料場配置方案，最後系統會比較這 3 種方案，選擇第 $n+4$ 天料場中料堆數量最少方案。

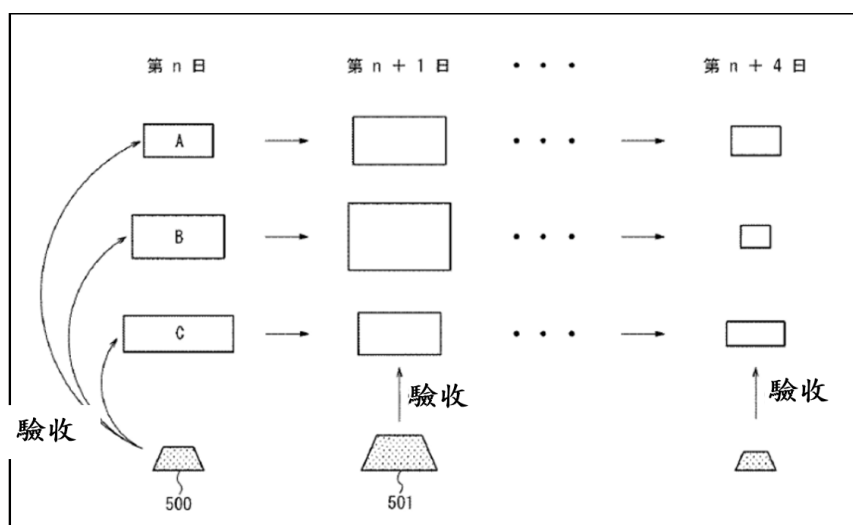


圖 19. 原料入庫模擬

- (4) 結果：藉由料堆配置最佳化與最小化，可提高料場空間利用率、同時管理不同種類原料而不需間隔配置，並減少料場死角，更進一步縮短原料入庫時間，降低滯船費用，整體而言實現更經濟高效的原料管理。本計畫於 JFE 西日本製鐵所執行，如圖 20 所示，藍色曲線係新系統上線後的料堆平均數量，執行結果顯示月平均料堆數量下降 4%，帶來顯著的成本效益。

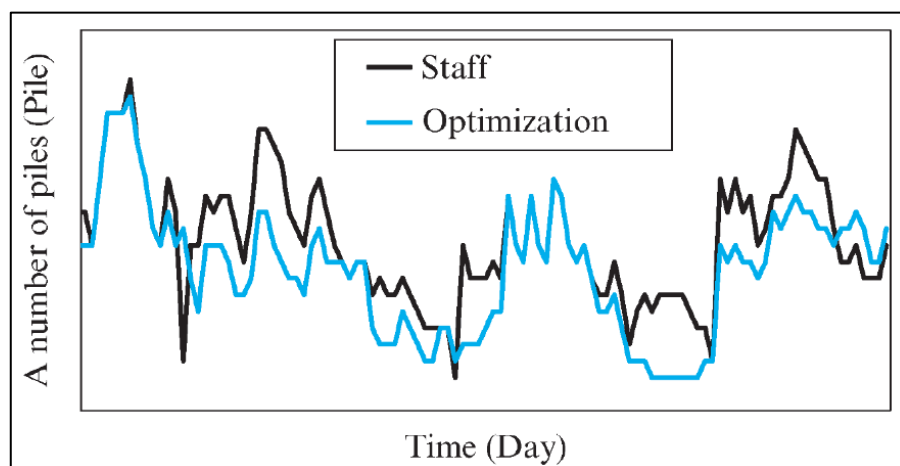


圖 20. 料場配置計畫執行前後料堆數量變化

4. 與 IT 公司——Blue Yonder 合作^[5]

JFE 鋼鐵為克服需求預測和規劃效率的挑戰，主要問題包括銷售數據分散、手動收集耗時，以及長期預測不準確等，故 JFE 鋼鐵採用 Blue Yonder 的銷售與營運規劃(S&OP)解決方案，實施後 JFE 取得以下成果：

- (1) 長期規劃所耗費時間縮短 50%。
- (2) 提供需求的即時可見性，包括影響每月和長期規劃的變化。
- (3) 銷售、生產和收入計畫直接整合。
- (4) 透過更快、更可靠的承諾以及輕鬆、即時的客戶存取訂單狀態來提高客戶滿意度。

四、其他案例

1. 原料採購/供應鏈優化案例

綜合日本製鐵與 JFE 鋼鐵的資訊，可知數據驅動的業務轉型是原料採購與供應鏈之優化管理的基礎，除前述內容揭示 JFE 鋼與 Blue Yonder 展開合作外，表 3 所更進一步蒐集鋼廠/鋼鐵經銷商採取 IT 公司解決方案案例，雖不完全僅限原料採購，但可知從原材料提取到成品交付的多個階段，IoT/AI 技術能提供即時數據和見解，從而提高可見性、簡化運營並降低成本，通過連接設備、流程和利益相關者，企業可以實現更好的決策和更高的效率。

表 3. 其他原料採購供應鏈之優化管理案例

技術提供	鋼廠	說明
--	Outokumpu	利用優化原料採購節省成本 ^[6]
EXOS	中小型鋼鐵製造商 金屬經銷商等 ^[7]	使用 AI 技術來改進鋼鐵分銷物流，以及供應鏈解決方案；另也提供預測分析功能 ^{[8][9]} 。
--	SSAB	利用人工智慧驅動的客戶細分，根據客戶需求和偏好個人化行銷活動。使客戶轉換率提高了 25% ^[10] 。
Noodle.ai	Big River Steel (下稱 BRS)	1. 需求預測： Noodle.ai 開發之 Demand Flow 結合歷史需求模式、鋼鐵消費者需求、商品和證券特徵、全球新聞和宏觀經濟事件等資料，提高了預測準確性,有助於最大化產能利用^{[11][12]}。 2. 採購和庫存管理： BRS 的原材料是廢鋼，所以需要提前預測這些廢料的可用性，Noodle.ai 公司製作「廢鋼指數」(scrap index)，並在與 BRS 合作採購廢鋼的對沖方法^[11]。

2. 公司目前原料業務專利匯總

經查近年公司原料業務專利計 3 筆，1 筆已獲證，技術領域較集中於船舶調度與管理，在「產用購運存」流程分類上，較著重於「運存」，各專利摘錄內容如下。

- (1) **I794625 原料運送管理追蹤系統**：本系統(圖 21)主要是透過即時的船舶衛星位置資訊並結合各代理商的船期、原物料的耗用狀況、港口碼頭的席次現

況，使得管理人員更能掌控原物料的到港時間，達到提供生產所需原料的穩定性，也透過上述方式，使管理端能夠提前應對可能產生原物料斷料的危機處理。

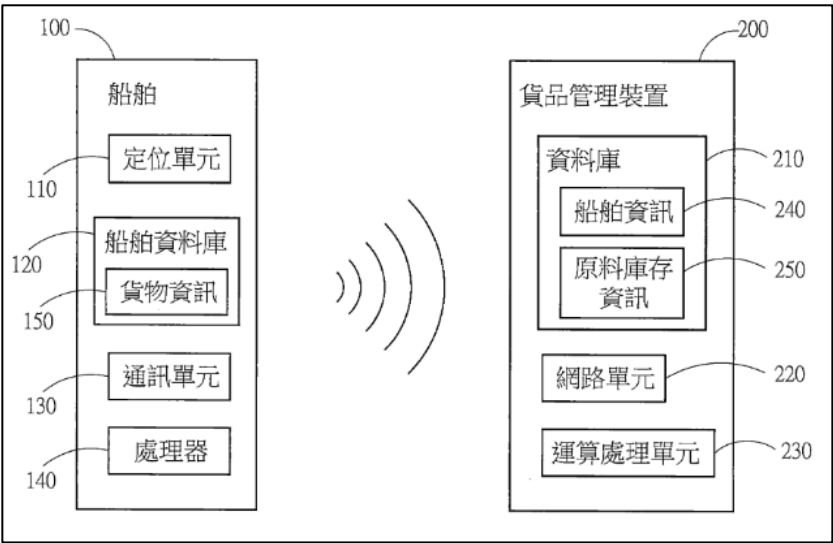


圖 21. 本案系統元件圖

(2) 113102333 調度船舶靠泊港口碼頭的方法：獲得目標港在一時間區間內的船席指船資訊，並依時間順序排列船席指船資訊形成一預定停泊圖；將優先靠泊船優先靠泊至相匹配的靠泊碼頭；以及根據預定停泊圖比對優先靠泊船、競爭靠泊船及我方船各自的船席指船資訊，以調整我方船的靠泊碼頭(圖 22)，本方法可以減少船舶調度的決策時間，並提高船舶調度的正確性。

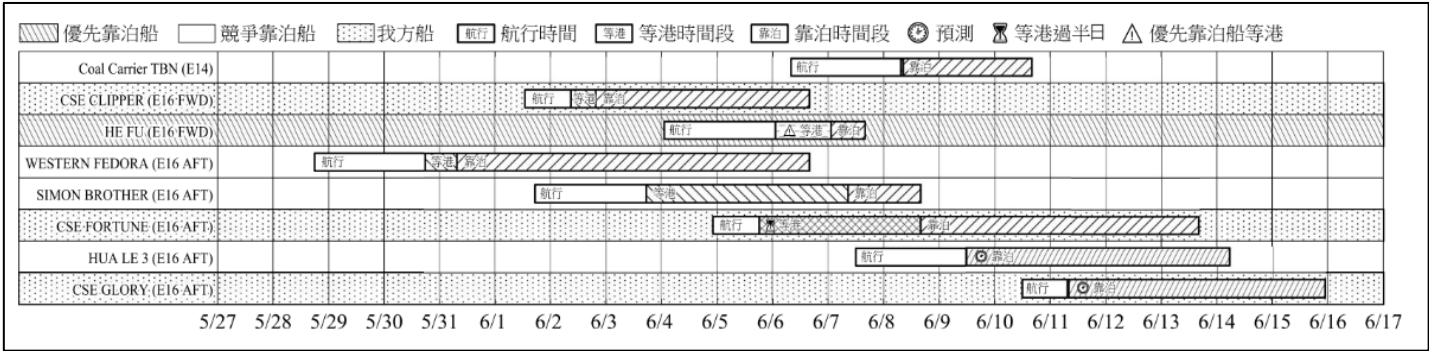


圖 22. 本案實施例的預定停泊圖

(3) 113108504 一種海運租金預測輔助選擇海運租船時間的方法及系統：鑒於海運船的租金價格會隨著海運指數波動變化且漲跌幅度劇烈，本案是有關於海運租金預測、輔助選擇海運租船時間的方法、以及實現其方法的系統(圖 23)，系統基於分析歷年之影響海運租金的相關資訊，以進行未來海運租金的趨勢預測，並提供輔助選擇租船時間的使用者介面系統，用以預測未來的海運租金趨勢供海運租船時間之參考。

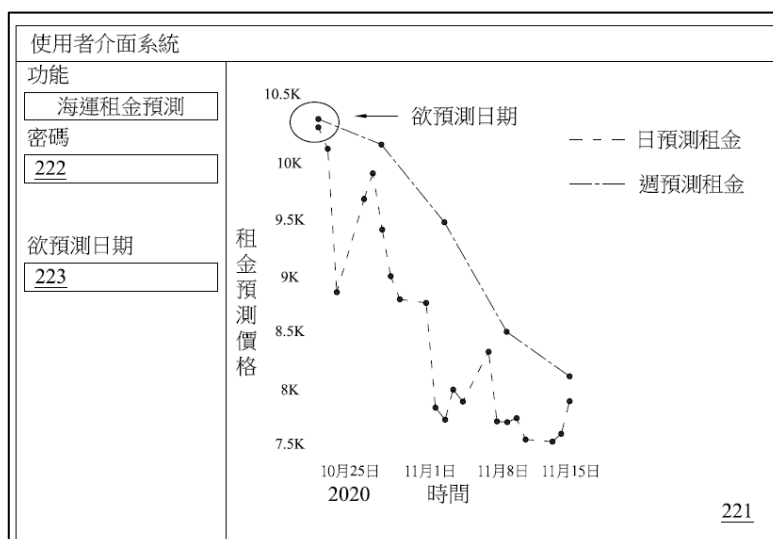


圖 23. 海運租金預測、輔助選擇海運租船系統

五、結論

由本報告之各項案例，可得出以下 3 點結論與建議：

1. 鋼鐵製造商可以使用數位轉型工具、AI 演算法尋找業務精進模式、預測市場趨勢並簡化生產程式，並在需求預測、庫存管理和生產計劃方面從中受益。
2. 日本製鐵雖有採購規劃專利，但係以高爐穩定操作考量為基礎，而非由接單預估切入；JFE 則採取 Blue Yonder 方案、BRS 採取 Noodle.ai 方案解決需求預測難題，而 JFE 與 BRS 尋求 IT 公司解決方案做法或可為公司精進管理的考量。
3. 本報告著重於日本製鐵與 JFE 鋼鐵調查，由於原料船載運在原料管理業務肩負承上啟下功能，較著墨於配船/船運流程技術開發；而由其他案例蒐集，公司亦可從日本製鐵與 JFE 鋼鐵的採購計畫、生產排程、料地規劃等技術，擷取關鍵營運策略與最佳實踐路徑，發展適合公司業務需求的技術，使公司在原料管理上達高效率、低成本效益。

引用資料

[1]	中鋼 2023 年永續報告書 https://www.csc.com.tw/csc/esg/pdf/hr-2023.pdf
[2]	原料調達業務における業務改革・DX https://www.nipponsteel.com/common/secure/tech/report/pdf/421-12.pdf
[3]	商船三井が開発したデジタルプラットフォーム”Lighthouse”と日本製鉄株式会社のシステム間情報・データ連携を開始 ～デジタル技術を通じて、お客様のサプライチェーン最適化に貢献～ https://www.mol.co.jp/pr/2023/23066.html
[4]	原料物流計画最適化システムを開発 https://www.jfe-steel.co.jp/release/2021/08/210818.html
[5]	JFE Steel Reduce Planning time by 50% with Real-time Planning https://blueyonder.com/customers/jfe-steel
[6]	AI accelerates steel industry transformation https://www.outokumpu.com/en/news/2024/ai-accelerates-steel-industry-transformation
[7]	EOXS Overview https://www.top10erp.org/products/eoxs
[8]	How IoT is Transforming Steel Supply Chains https://eoxs.com/new_blog/how-iot-is-transforming-steel-supply-chains/
[9]	Where Steel Meet Technology https://eoxs.com/
[10]	How Artificial Intelligence (AI) is Revolutionizing the Steel Industry https://steelindustry.news/how-artificial-intelligence-ai-is-revolutionizing-the-steel-industry/
[11]	With Noodle.ai's solutions, deployments of Big River Steel are showing big results and attracting attention https://www.analyticsinsight.net/latest-news/noodle-ai-helps-big-river-steel-create-a-first-of-its-kind-innovative-steel-mill
[12]	Shining Up a Rusty Industry with Artificial Intelligence https://www.forbes.com/sites/tomdavenport/2018/02/08/shining-up-a-rusty-industry-with-artificial-intelligence/?sh=fa6d64861c43