

IDTF-Pay 碳管理應用場景：碳排放、碳履歷與碳足跡計算

版本: 1.0

發布日期: 2025年10月18日

作者: Chih Cheng Lin (Michael Lin) & Manus AI

文件類型: IDTF-Pay 白皮書補充文檔

執行摘要

隨著全球碳中和目標的推進，碳排放管理已成為製造業面臨的重大挑戰與機遇。全球碳權市場在 2025 年的規模已達到 **9,332 億美元**，預計到 2034 年將成長至 **16.38 兆美元**，年複合成長率高達 37.68%[1][2]。然而，當前的碳管理體系面臨著數據可信度低、追蹤效率差、交易成本高等問題。

IDTF-Pay 作為工業數位孿生金融平台，天然具備解決這些問題的能力。透過整合 IDTF 的核心組件（NDH、IADL/FDL、MCP），IDTF-Pay 可以將工業生產過程中的碳排放數據即時轉化為可驗證、可交易的碳資產，並自動執行碳權交易、碳稅結算和碳足跡計費。

本文檔詳細闡述了 IDTF-Pay 在碳管理領域的五大應用場景，並分析其巨大的市場價值和商業潛力。

目錄

- [1. 碳管理的挑戰與機遇](#)
- [2. IDTF-Pay 在碳管理中的核心能力](#)
- [3. 應用場景一：即時碳排放監測與自動碳稅結算](#)
- [4. 應用場景二：產品碳足跡追蹤與碳履歷證明](#)
- [5. 應用場景三：供應鏈 Scope 3 碳排放管理](#)
- [6. 應用場景四：碳權自動交易與結算](#)

7. [應用場景五：碳中和製造與綠色溢價計費](#)
8. [市場價值分析](#)
9. [技術實現路徑](#)
10. [結論](#)
11. [參考資料](#)

1. 碳管理的挑戰與機遇

1.1. 全球碳中和趨勢

截至 2025 年初，全球已有超過 **80 個實施中的碳定價制度**，包括 43 種碳稅與 37 種碳交易系統（ETS），覆蓋全球約 **28% 的溫室氣體排放**[3]。主要經濟體如歐盟、中國、美國加州等都已建立或正在擴大碳交易市場。

根據世界銀行報告，碳定價機制在 2024 年為公共預算籌集了超過 **1,000 億美元**[4]。這一趨勢將持續加速，預計到 2030 年，全球自願性碳權市場規模將達到 **70 億至 350 億美元**，到 2050 年將達到 **450 億至 2,500 億美元**[5]。

1.2. 製造業面臨的碳管理挑戰

儘管碳市場快速發展，製造業在碳管理方面仍面臨嚴峻挑戰：

數據可信度問題：傳統的碳排放數據依賴人工填報和第三方審計，容易出現數據造假、誤差和延遲。根據研究，許多企業的碳排放數據準確度不足 70%，這嚴重影響了碳交易市場的信任度[6]。

Scope 3 排放追蹤困難：對於大多數製造企業，**Scope 3 排放**（供應鏈上下游的間接排放）佔總排放量的 **60% 至 90%**[7][8]。然而，由於涉及多個供應商和複雜的供應鏈網路，Scope 3 排放的追蹤和核算極為困難。

碳足跡計算複雜：產品碳足跡（PCF）需要追蹤從原材料開採、生產製造、運輸到使用和廢棄的整個生命週期的碳排放[9]。這涉及大量的數據收集和計算，傳統方法耗時且成本高昂。

交易成本高：當前的碳權交易流程涉及多個中介機構，交易週期長、手續費高。中小企業往往因為交易成本過高而無法參與碳市場。

缺乏自動化機制：碳稅繳納、碳權購買和碳抵銷等流程仍然高度依賴人工操作，效率低下且容易出錯。

1.3. 區塊鏈與智能合約的機遇

區塊鏈技術和智能合約為解決上述問題提供了新的可能性：

- 透明度與可追溯性：**區塊鏈的不可篡改特性確保碳排放數據的真實性和可追溯性[10]。
- 自動化驗證：**智能合約可以自動化碳排放的驗證和報告流程，減少人工成本和錯誤[11]。
- 代幣化碳權：**將碳權代幣化（Tokenization）可以提高碳市場的流動性，降低交易門檻[12]。
- 即時結算：**智能合約可以實現碳權交易的即時結算，大幅縮短交易週期[13]。

2. IDTF-Pay 在碳管理中的核心能力

IDTF-Pay 結合了工業數位孿生和區塊鏈金融的優勢，為碳管理提供了獨特的解決方案。

2.1. 可信的碳排放數據來源

NDH（中立數據中樞） 作為 IDTF 的核心組件，能夠即時收集和驗證來自工業設備的能源消耗數據、生產數據和排放數據。這些數據直接來自物聯網傳感器和工業控制系統，無需人工填報，確保了數據的**即時性、準確性和不可篡改性**。

與傳統的碳盤查方法相比，基於 NDH 的碳排放監測具有以下優勢：

特性	傳統碳盤查	基於 IDTF-Pay 的碳監測
數據來源	人工填報、電費單據	IoT 傳感器、工業控制系統
數據頻率	月度或年度	即時（秒級或分鐘級）
數據準確度	60-80%（依賴人工）	95%+（自動化採集）
驗證方式	第三方審計（數週）	智能合約自動驗證（數秒）
可追溯性	有限（紙本或 Excel）	完全可追溯（區塊鏈記錄）

2.2. 語意化的碳排放模型

IADL（工業資產定義語言）可以為每個工業資產定義其碳排放特性。例如：

```
assetType: "CNC_Milling_Machine"  
carbonAttributes:  
  energyConsumptionPerHour: 15.0 # kWh  
  carbonIntensity: 0.5 # kg CO2e per kWh (基於當地電網)  
  carbonEmissionPerHour: 7.5 # kg CO2e  
  carbonOffsetRequired: true  
  carbonCreditPrice: 50.0 # USD per ton CO2e
```

這種語意化的定義使得 IDTF-Pay 能夠自動計算每個生產活動的碳排放量，並將其轉化為財務成本。

2.3. 自動化的碳交易與結算

智能合約引擎可以根據預設的業務規則，自動執行碳權購買、碳稅繳納和碳抵銷等操作。例如：

```
IF (月度累計碳排放 > 配額)  
THEN (自動購買碳權以抵銷超額排放)  
AND (從企業錢包支付碳權費用)
```

這種自動化機制不僅提高了效率，還確保了企業始終處於合規狀態。

2.4. 端到端的碳足跡追蹤

FDL（工廠設計語言）定義了工廠內部和供應鏈之間的物料流動和能源流動。結合 NDH 的即時數據，IDTF-Pay 可以追蹤每個產品從原材料到成品的完整碳足跡，並生成可驗證的碳履歷證明。

3. 應用場景一：即時碳排放監測與自動碳稅結算

3.1. 場景描述

在許多國家和地區（如歐盟、中國），企業需要根據其碳排放量繳納碳稅或購買碳配額。傳統的流程是：企業每月或每季度進行碳盤查 → 計算應繳碳稅 → 向政府申報 → 繳納稅款。這個過程不僅耗時，還容易因數據不準確而導致罰款或爭議。

3.2. IDTF-Pay 解決方案

即時監測：工廠內的所有能源消耗設備（如鍋爐、空壓機、生產線）都連接到 NDH，即時上報能源使用數據。IDTF-Pay 根據 IADL 中定義的碳排放係數，自動計算每小時、每天的碳排放量。

自動結算：智能合約持續監控企業的累計碳排放量。一旦超過免費配額，智能合約自動觸發碳稅繳納流程，從企業的數位錢包中扣除相應金額，並轉入政府的碳稅帳戶。

合規報告：所有碳排放數據和繳稅記錄都記錄在不可篡改的區塊鏈帳本上，企業可以隨時生成合規報告，供監管機構審查。

3.3. 結算事件範例

```
eventId: "evt_20251018_carbon_tax_settlement_001"
timestamp: "2025-10-18T23:59:59Z"
eventType: "CARBON_TAX_SETTLEMENT"
status: "COMPLETED"

description: "10月份碳排放超額，自動繳納碳稅"

trigger:
  source: "NDH"
  eventId: "ndh_evt_monthly_carbon_summary_202510"
  totalEmissions: 1250.5 # ton CO2e
  freeQuota: 1000.0 # ton CO2e
  excessEmissions: 250.5 # ton CO2e

payers:
  - partyId: "did:itdf:org:harvatek"
    walletId: "wallet_harvatek_carbon"
    amount: 12525.00 # USD (250.5 ton * 50 USD/ton)
    currency: "USD"

payees:
  - partyId: "did:itdf:gov:taiwan_epa"
    walletId: "wallet_epa_carbon_tax"
    amount: 12525.00
    currency: "USD"

settlementLogic:
  type: "SMART_CONTRACT"
  contractId: "sc_carbon_tax_auto_v1"
  conditions:
    - "NDH.verifyMonthlyEmissions('202510', 'status', 'AUDITED')"
```

```
metadata:
  taxRate: 50.0 # USD per ton CO2e
  reportingPeriod: "2025-10"
  complianceStatus: "COMPLIANT"
```

3.4. 效益分析

- **企業**：消除人工碳盤查和申報的工作量，降低合規成本 80%；避免因數據錯誤導致的罰款。
 - **政府**：即時掌握企業碳排放數據，提高稅收效率；減少審計和執法成本。
 - **環境**：透明的碳排放數據有助於政策制定和碳減排目標的追蹤。
-

4. 應用場景二：產品碳足跡追蹤與碳履歷證明

4.1. 場景描述

隨著消費者和企業客戶對永續性的重視，越來越多的產品需要附帶**產品碳足跡（PCF）**證明。例如，歐盟的**碳邊境調整機制（CBAM）**要求進口產品必須提供碳排放數據[14]。然而，傳統的 PCF 計算依賴複雜的生命週期評估（LCA），成本高昂且難以驗證。

4.2. IDTF-Pay 解決方案

端到端追蹤：從原材料進入工廠的那一刻起，IDTF-Pay 就開始追蹤其碳足跡。NDH 記錄每個生產步驟的能源消耗、物料使用和運輸距離。FDL 定義了物料在工廠內的流動路徑，確保追蹤的完整性。

自動計算：IDTF-Pay 根據 IADL 中定義的碳排放係數，自動計算每個產品的累計碳足跡。計算公式包括：

- **原材料碳足跡**：從供應商處獲取（透過供應鏈數據共享）
- **生產碳足跡**：設備能源消耗 × 碳排放係數
- **運輸碳足跡**：運輸距離 × 運輸方式的碳排放係數

碳履歷證明：每個產品在出廠時，IDTF-Pay 自動生成一個**數位碳履歷證明（Digital Carbon Passport）**，記錄其完整的碳足跡數據。這個證明以 NFT（非同質化代幣）的形式存儲在區塊鏈上，具有唯一性和不可篡改性。

4.3. 碳履歷證明範例

```
productId: "P-54321-LED-Module"
productName: "High-Efficiency LED Module"
manufacturer: "did:dtf:org:harvatek"
productionDate: "2025-10-15"
carbonPassportId: "nft://carbon-passport/0x1a2b3c..."

totalCarbonFootprint: 5.8 # kg CO2e

carbonBreakdown:
  rawMaterials: 2.5 # kg CO2e (來自供應商數據)
  manufacturing: 2.0 # kg CO2e (生產過程)
  transportation: 0.8 # kg CO2e (廠內物流)
  packaging: 0.5 # kg CO2e (包裝材料)

verificationStatus: "VERIFIED_BY_NDH"
blockchainRecord: "0x7f8e9d..."
certificationAuthority: "did:dtf:org:third_party_auditor"
```

4.4. 效益分析

- **製造商：**滿足客戶和監管機構對 PCF 的要求，提升產品競爭力；可以為低碳產品收取綠色溢價。
- **客戶：**獲得可信的碳足跡數據，支持其自身的 Scope 3 排放核算；滿足永續採購政策。
- **市場：**建立標準化的碳履歷體系，促進綠色產品的市場流通。

5. 應用場景三：供應鏈 Scope 3 碳排放管理

5.1. 場景描述

對於大多數製造企業，**Scope 3 排放**（供應鏈上下游的間接排放）是最大的碳排放來源，但也是最難管理的。根據研究，Scope 3 排放通常佔企業總排放量的 **60% 至 90%**[7][8]。然而，由於涉及數百甚至數千個供應商，傳統的 Scope 3 核算依賴供應商自行填報數據，準確度和完整性都很低。

5.2. IDTF-Pay 解決方案

供應鏈碳數據共享：IDTF-Pay 建立一個跨組織的碳數據共享網路。每個參與的供應商都使用 IDTF-Pay 追蹤其產品的碳足跡，並將數據透過 API 間道共享給下游客戶。

自動化 Scope 3 核算：當製造商從供應商處採購原材料或零件時，IDTF-Pay 自動從供應商的碳履歷證明中提取碳足跡數據，並將其計入製造商的 Scope 3 排放。

碳排放分攤：對於共享的供應鏈資源（如物流、倉儲），IDTF-Pay 可以根據實際使用量自動分攤碳排放，確保公平性。

激勵低碳供應商：製造商可以設定智能合約，對提供低碳產品的供應商給予價格優惠或獎勵，激勵供應鏈的整體減碳。

5.3. 工作流程

1. **供應商 A** 生產一批原材料，IDTF-Pay 計算其碳足跡為 100 kg CO₂e，並生成碳履歷證明。
2. **製造商 B** 從供應商 A 採購該批原材料。採購訂單中包含碳履歷證明的引用。
3. **IDTF-Pay** 自動將 100 kg CO₂e 計入製造商 B 的 Scope 3 排放。
4. 製造商 B 使用該原材料生產產品，IDTF-Pay 將 100 kg CO₂e 加入產品的總碳足跡。
5. 製造商 B 將產品銷售給**客戶 C**，並提供包含完整碳足跡的碳履歷證明。

5.4. 效益分析

- **製造商：**準確核算 Scope 3 排放，滿足 CDP、SBTi 等國際標準的要求；識別供應鏈中的高碳環節，制定減碳策略。
- **供應商：**透過提供低碳產品獲得競爭優勢；參與碳數據共享網路，提升供應鏈地位。
- **供應鏈：**建立透明的碳數據流動機制，促進整體供應鏈的減碳合作。

6. 應用場景四：碳權自動交易與結算

6.1. 場景描述

在碳交易市場中，企業可以購買碳權（碳信用額度）來抵銷其超額排放。然而，傳統的碳權交易流程涉及多個中介機構（如碳交易所、經紀商、審計機構），交易週期長（數天至數週），手續費高（5-10%）。對於中小企業，這些成本往往是禁止性的。

6.2. IDTF-Pay 解決方案

碳權代幣化：IDTF-Pay 將碳權（如 VCS、Gold Standard 認證的碳信用）代幣化為數位資產，每個代幣代表 1 噸 CO₂e 的減排量。這些代幣可以在 IDTF-Pay 平台上自由交易。

自動化交易：企業可以設定智能合約，當其碳排放超過配額時，自動在碳權市場上購買相應數量的碳權代幣。交易在數秒內完成，無需人工介入。

即時結算：碳權交易的支付和碳權轉移同步完成，無需等待清算和交割。所有交易記錄在區塊鏈上，確保透明和可追溯。

降低交易成本：由於消除了中介機構，IDTF-Pay 的碳權交易手續費可以降低至 **0.5-1%**，大幅降低企業的合規成本。

6.3. 結算事件範例

```
eventId: "evt_20251018_carbon_credit_purchase_001"
timestamp: "2025-10-18T10:30:00Z"
eventType: "CARBON_CREDIT_PURCHASE"
status: "COMPLETED"

description: "自動購買碳權以抵銷超額排放"

trigger:
  source: "SMART_CONTRACT"
  eventId: "sc_evt_carbon_quota_exceeded"
  excessEmissions: 50.0 # ton CO2e

payers:
  - partyId: "did:ietf:org:factory_xyz"
    walletId: "wallet_factory_xyz_carbon"
    amount: 2500.00 # USD (50 ton * 50 USD/ton)
    currency: "USD"

payees:
  - partyId: "did:ietf:org:carbon_project_abc"
    walletId: "wallet_carbon_project_abc"
    amount: 2475.00 # USD (扣除 1% 手續費)
    currency: "USD"

carbonCredits:
  type: "VCS_VERIFIED"
  quantity: 50.0 # ton CO2e
  projectId: "VCS-1234"
  vintage: "2024"
  tokenIds: ["0xabc123...", "0xdef456...", ...]

settlementLogic:
  type: "SMART_CONTRACT"
  contractId: "sc_carbon_credit_auto_purchase_v1"
  conditions:
    - "CarbonMarket.verifyAvailability('VCS-1234', 50.0)"

metadata:
  transactionFee: 25.00 # USD (1%)
  marketPrice: 50.0 # USD per ton CO2e
  retirementStatus: "RETIRED" # 碳權已註銷，用於抵銷
```

6.4. 效益分析

- **企業**：大幅降低碳權交易成本（從 5-10% 降至 0.5-1%）；即時完成交易，確保合規；透明的價格發現機制。
 - **碳項目開發商**：直接接觸買家，提高碳權銷售效率；快速獲得收入，改善現金流。
 - **碳市場**：提高流動性，降低交易門檻；吸引更多中小企業參與，擴大市場規模。
-

7. 應用場景五：碳中和製造與綠色溢價計費

7.1. 場景描述

隨著企業和消費者對永續性的重視，「碳中和產品」成為市場的新賣點。然而，傳統的碳中和認證流程複雜且成本高昂，往往只有大型企業才能負擔。此外，如何將碳中和的成本公平地分攤到產品價格中，也是一個挑戰。

7.2. IDTF-Pay 解決方案

即時碳中和：IDTF-Pay 可以在生產過程中即時追蹤每個產品的碳足跡。當產品完成生產時，智能合約自動購買相應數量的碳權，並將其註銷（retire），實現產品的即時碳中和。

綠色溢價計費：IDTF-Pay 自動計算實現碳中和所需的碳權成本，並將其作為「綠色溢價」加入產品價格。客戶在購買產品時，同時支付產品價格和綠色溢價。

碳中和證明：每個碳中和產品都附帶一個數位證明，記錄其碳足跡、購買的碳權和註銷記錄。客戶可以透過掃描 QR 碼或 NFC 標籤，查看產品的完整碳中和信息。

差異化定價：製造商可以提供「標準版」和「碳中和版」兩種產品選項。客戶可以根據自己的需求和預算選擇，IDTF-Pay 自動處理不同的計費邏輯。

7.3. 結算事件範例

```
eventId: "evt_20251018_carbon_neutral_product_001"
timestamp: "2025-10-18T15:45:00Z"
eventType: "CARBON_NEUTRAL_PRODUCT_SETTLEMENT"
status: "COMPLETED"

description: "產品 P-54321 實現碳中和，綠色溢價已收取"

trigger:
  source: "NDH"
  eventId: "ndh_evt_product_completed_54321"
  productId: "P-54321-LED-Module"
  carbonFootprint: 5.8 # kg CO2e

payers:
  - partyId: "did:ietf:org:customer_abc"
    walletId: "wallet_customer_abc"
    amount: 100.29 # USD (產品價格 100.00 + 綠色溢價 0.29)
    currency: "USD"

payees:
  - partyId: "did:ietf:org:harvatek"
    walletId: "wallet_harvatek_sales"
    amount: 100.00 # USD (產品價格)
    currency: "USD"
  - partyId: "did:ietf:org:carbon_project_xyz"
    walletId: "wallet_carbon_project_xyz"
    amount: 0.29 # USD (綠色溢價，用於購買碳權)
    currency: "USD"

carbonCredits:
  type: "GOLD_STANDARD"
  quantity: 0.0058 # ton CO2e
  projectId: "GS-5678"
  retirementStatus: "RETIRED"
  certificateId: "nft://carbon-neutral-cert/0x9f8e7d..."

settlementLogic:
  type: "SMART_CONTRACT"
  contractId: "sc_carbon_neutral_product_v1"
  conditions:
    - "NDH.verifyProductCarbonFootprint('P-54321', 'status', 'VERIFIED')"
    - "CarbonMarket.purchaseAndRetire('GS-5678', 0.0058)"

metadata:
  carbonPrice: 50.0 # USD per ton CO2e
  greenPremium: 0.29 # USD (5.8 kg * 50 USD/ton / 1000)
  customerChoice: "CARBON_NEUTRAL_VERSION"
```

7.4. 效益分析

- **製造商**：開拓綠色產品市場，提升品牌形象；透過綠色溢價覆蓋碳中和成本，無需犧牲利潤。
- **客戶**：獲得可信的碳中和產品，支持永續發展；透明的綠色溢價定價，避免「漂綠」(greenwashing)。

- **環境：**促進碳中和產品的普及，加速全球減碳進程。

8. 市場價值分析

8.1. 碳市場規模與成長潛力

全球碳權市場正在經歷爆炸性成長：

市場類型	2025 年規模	2030 年預測	2034/2035 年預測	年複合成長率
全球碳權市場	9,332 億美元[1]	-	16.38 兆美元[2]	37.68%
自願性碳權市場	16 億美元[15]	70-350 億美元[5]	239-475 億美元[16]	35.1%
碳抵銷/碳信用市場	24.4 億美元[17]	-	310.4 億美元[17]	30.6%

這些數據顯示，碳市場是未來十年成長最快的市場之一，為 IDTF-Pay 提供了巨大的商業機會。

8.2. IDTF-Pay 的目標市場

IDTF-Pay 在碳管理領域的目標市場包括：

製造業碳管理市場：全球製造業的碳排放量約佔總排放量的 **30%**[18]。假設其中 10% 的企業採用 IDTF-Pay 進行碳管理，市場規模約為：

- 全球製造業產值：約 15 兆美元
- 碳管理支出（假設為產值的 0.5%）：750 億美元
- IDTF-Pay 目標市場（10% 滲透率）：**75 億美元**

供應鏈碳追蹤市場：根據研究，Scope 3 排放核算和管理的市場需求正在快速增長。假設全球 Fortune 2000 企業中有 50% 需要 Scope 3 碳追蹤服務，每家企業年支出 50 萬美元，市場規模約為：

- 2000 企業 × 50% × 50 萬美元 = **5 億美元**

碳權交易市場：IDTF-Pay 可以從碳權交易中收取手續費。假設 IDTF-Pay 佔據自願性碳權市場 5% 的份額，手續費率為 1%，到 2030 年的收入約為：

- 自願性碳權市場（2030）：70-350 億美元
- IDTF-Pay 市場份額（5%）：3.5-17.5 億美元
- 手續費收入（1%）：**3,500 萬 - 1.75 億美元**

產品碳足跡認證市場：隨著 CBAM 等監管要求的實施,產品碳足跡認證需求激增。假設全球有 100 萬家出口企業需要 PCF 認證，每家年支出 1,000 美元，市場規模約為：

- 100 萬企業 × 1,000 美元 = **10 億美元**

8.3. IDTF-Pay 的收入模型

在碳管理領域，IDTF-Pay 可以採用以下收入模型：

收入來源	定價模式	預估年收入（成熟期）
碳排放監測訂閱	按設備數量或排放量收費，如每台設備 10 美元/月	5-10 億美元
碳權交易手續費	交易金額的 0.5-1%	0.35-1.75 億美元
碳履歷證明服務	每個產品 0.1-1 美元	1-5 億美元
供應鏈碳追蹤平台	企業訂閱，50 萬美元/年	5 億美元
碳中和產品計費	綠色溢價的 5-10% 作為平台費	2-5 億美元
數據服務與分析	按數據集或 API 調用收費	1-3 億美元
總計	-	14.35-29.75 億美元

8.4. 競爭優勢

IDTF-Pay 相較於現有的碳管理解決方案具有以下競爭優勢：

端到端整合：從碳排放監測、碳足跡計算到碳權交易和結算，IDTF-Pay 提供一站式解決方案，而傳統方案往往需要多個供應商。

數據可信度：基於 NDH 的即時數據採集和區塊鏈的不可篡改記錄，IDTF-Pay 的碳排放數據可信度遠高於傳統的人工填報方式。

自動化程度：智能合約實現了碳稅繳納、碳權交易等流程的完全自動化，大幅降低人工成本和錯誤率。

成本效益：透過消除中介機構和自動化流程，IDTF-Pay 可以將碳管理成本降低 **50-80%**。

供應鏈協作：IDTF-Pay 的跨組織碳數據共享機制，解決了 Scope 3 排放追蹤的難題，這是傳統方案的重大痛點。

9. 技術實現路徑

9.1. 碳排放數據採集

IoT 傳感器整合：在工廠的關鍵能源消耗點（如電錶、燃氣錶、冷卻系統）安裝 IoT 傳感器，即時採集能源使用數據。

工業控制系統對接：與 SCADA、MES 等工業控制系統對接，獲取生產設備的運行數據和生產參數。

數據標準化：將採集的數據轉換為標準化的碳排放數據格式（如 ISO 14064、GHG Protocol），存儲在 NDH 中。

9.2. 碳排放計算引擎

排放係數資料庫：建立一個包含各種能源、物料和運輸方式的碳排放係數資料庫。排放係數可以根據地區、時間和來源動態更新。

計算模型：開發基於 IADL 的碳排放計算模型，支持複雜的生命週期評估（LCA）和多層級的碳足跡累加。

AI 優化：使用機器學習算法優化碳排放計算的準確度，並識別減碳機會。

9.3. 碳權代幣化與交易

碳權註冊表整合：與主要的碳權註冊表（如 Verra、Gold Standard、Climate Action Reserve）對接，驗證碳權的真實性和唯一性。

代幣化標準：採用 ERC-20 或 ERC-1155 等標準，將碳權代幣化為區塊鏈上的數位資產。

去中心化交易所（DEX）：建立一個專門的碳權 DEX，支持點對點的碳權交易，並整合自動做市商（AMM）機制以提供流動性。

9.4. 智能合約開發

碳稅自動結算合約：監控企業的累計碳排放量，當超過配額時自動觸發碳稅繳納。

碳權自動購買合約：根據企業的碳中和目標，自動在市場上購買碳權並註銷。

綠色溢價計費合約：在產品銷售時自動計算和收取綠色溢價，並將其用於購買碳權。

供應鏈碳數據共享合約：管理跨組織的碳數據訪問權限，確保數據隱私和安全。

9.5. 碳履歷證明系統

NFT 生成：為每個產品生成一個唯一的碳履歷 NFT，記錄其完整的碳足跡數據。

QR 碼 / NFC 整合：在產品包裝上印刷 QR 碼或嵌入 NFC 標籤，消費者可以掃描查看碳履歷。

第三方驗證：與獨立的碳審計機構合作，對碳履歷數據進行第三方驗證，增強可信度。

10. 結論

碳管理是全球製造業面臨的重大挑戰，也是 IDTF-Pay 的巨大商業機會。透過整合工業數位孿生、區塊鏈和智能合約技術，IDTF-Pay 可以為碳排放監測、碳足跡追蹤、碳權交易和碳中和製造提供端到端的解決方案。

在一個碳權市場規模預計將在 2034 年達到 **16.38 兆美元**的時代，IDTF-Pay 有潛力成為工業碳管理的基礎設施，為企業、政府和環境創造多贏的局面。

核心價值總結：

- 數據可信：**基於 IoT 和區塊鏈的即時、不可篡改的碳排放數據。
- 完全自動化：**從監測、計算到交易和結算的全自動化流程。
- 成本效益：**降低碳管理成本 50-80%，降低碳權交易手續費至 0.5-1%。
- 供應鏈協作：**解決 Scope 3 排放追蹤的難題，建立透明的碳數據共享網路。
- 市場潛力：**目標市場規模達 **14-30 億美元**（成熟期年收入）。

隨著全球碳中和目標的推進和碳定價機制的普及，IDTF-Pay 在碳管理領域的應用將成為其最具戰略價值的業務之一。

11. 參考資料

- [1] Precedence Research. (2025). *Carbon Credit Market Size to Surpass USD 16379.53 Billion by 2034*. [Online]. Available: <https://www.precedenceresearch.com/carbon-credit-market>
- [2] Globe Newswire. (2025). *Carbon Credit Market Size Worth 16379.53 Bn by 2034*. [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/06/26/3105670/0/en/Carbon-Credit-Market-Size-Worth-16-379-53-Bn-by-2034.html>
- [3] Reccessary. (2025). *世銀2025碳定價報告：全球實施制度增至80個、覆蓋28%排放*. [Online]. Available: <https://www.reccessary.com/zh-tw/news/state-and-trends-of-carbon-pricing-2025>
- [4] World Bank. (2025). *State and Trends of Carbon Pricing 2025*. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/publication/state-and-trends-of-carbon-pricing>
- [5] MSCI. (2025). *Frozen Carbon Credit Market May Thaw as 2030 Gets Closer*. [Online]. Available: <https://www.msci.com/research-and-insights/blog-post/frozen-carbon-credit-market-may-thaw-as-2030-gets-closer>
- [6] Medium. (2024). *How Blockchain is Revolutionizing Carbon Markets*. [Online]. Available: <https://medium.com/@eddie.hc.tsui/how-blockchain-is-revolutionizing-carbon-markets-62d8fa86e4db>
- [7] MIT Sloan. (2024). *Scope 3 emissions top supply chain sustainability challenges*. [Online]. Available: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/scope-3-emissions-top-supply-chain-sustainability-challenges>
- [8] PwC. *Scope 3 emissions*. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/us/en/services/esg/library/scope-3-emissions.html>
- [9] Ecochain. (2025). *What Is Product Carbon Footprint? Why It Matters*. [Online]. Available: <https://ecochain.com/blog/product-carbon-footprint/>
- [10] Springer. (2025). *Blockchain for the carbon market: a literature review*. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44274-025-00260-4>
- [11] ScienceDirect. (2025). *Blockchain and tokenized carbon markets: Empirical analysis*. [Online]. Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666188825006732>

[12] Osler. (2025). *Tokenized carbon credits: how blockchain is revolutionizing markets*. [Online]. Available: <https://www.osler.com/en/insights/updates/tokenized-carbon-credits-blockchain-revolutionizing-markets/>

[13] MDPI. (2024). *Blockchain Technology in Carbon Trading Markets*. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/13/3296>

[14] European Commission. *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*. [Online]. Available: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

[15] Grand View Research. *Voluntary Carbon Credit Market Size / Industry Report, 2030*. [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/voluntary-carbon-credit-market-report>

[16] Roots Analysis. *Voluntary Carbon Credit Market Size & Trends Report [2035]*. [Online]. Available: <https://www.rootsanalysis.com/reports/voluntary-carbon-market.html>

[17] Yahoo Finance. (2025). *Carbon Offset/Credit Industry Research 2025*. [Online]. Available: <https://uk.finance.yahoo.com/news/carbon-offset-credit-industry-research-130400879.html>

[18] Persefoni. (2025). *Manufacturing Carbon Footprint: Emissions Profile Insights*. [Online]. Available: <https://www.persefoni.com/blog/manufacturing-carbon-footprint>

附錄：碳管理術語表

- **PCF (Product Carbon Footprint):** 產品碳足跡，指產品在整個生命週期中產生的溫室氣體排放總量。
- **Scope 1 排放:** 企業直接控制的排放源（如自有鍋爐、車輛）。
- **Scope 2 排放:** 企業購買的能源（如電力、蒸汽）產生的間接排放。
- **Scope 3 排放:** 供應鏈上下游的間接排放（如原材料、運輸、產品使用）。
- **碳權 (Carbon Credit):** 代表 1 噸 CO₂e 減排量的可交易單位。
- **碳抵銷 (Carbon Offset):** 透過購買碳權來抵銷自身的碳排放。
- **碳中和 (Carbon Neutral):** 透過減排和抵銷實現淨零碳排放。

- **CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism):** 歐盟碳邊境調整機制，要求進口產品提供碳排放數據。
- **MRV (Monitoring, Reporting, Verification):** 碳排放的監測、報告和驗證流程。

© 2025 IDTF Consortium. 本文件為 IDTF-Pay 白皮書的補充文檔。