

時空間支配型 AI

v0.1 / 2026-07-30 / Neo.K / 母命題論文／系統架構研究綱領

證據狀態：E0——概念、形式模型與可證偽研究議程

<https://thisoneisneok.com/html/papers/stdi-01.html>

SECTION

從單體具身智能到持續性時空域治理

Spatiotemporal Domain Intelligence: From Individual Embodied Agents to Persistent Governance of Physical Domains

系列：《時空域支配智能》系列第 1 篇

文件編號：EML-STDI-2026-v0.1

作者：Neo.K

協作整理：Aletheia（阿萊）

機構：EveMissLab／一言諾科技有限公司

日期：2026 年 7 月 30 日

文件類型：母命題論文／系統架構研究綱領

證據成熟度：E0——概念、形式模型與可證偽研究議程

公開狀態：私人研究稿；公開前應經 EML-CF 的 IP Gate 與證據審查

SECTION

摘要

現有具身人工智能研究通常將「身體」理解為一台機器人、一組感測器與執行器，或一群可以分工協作的移動代理。自主實驗室則進一步將人工智能、機器人、自動化儀器、材料與量測流程組合成實驗閉環，使系統能在有限問題空間中提出條件、執行操作、分析結果並選擇下一輪實驗。這些成果已證明，AI 可以控制物理或計算實驗，移動機器人也能在既有實驗室中操作多種設備。然而，現有系統大多仍是針對狹窄研究任務、少數工具與特定流程建立的客製化閉環；它們通常不被定義為一個長期維持同一物理區域、跨任務保存世界模型、持續分配權限與資源、管理多個固定與移動身體，並保存因果證據的統一智能主體。

本文提出「時空間支配型 AI」作為新的母命題，正式工程名稱為 時空域支配智能（Spatiotemporal Domain Intelligence, STDI）。本文中的「支配」不指無限制控制，不指對物理時空本身具有超自然能力，也不表示中央 AI 應直接操縱每一個馬達與安全回路。它指的是：在一個被明確授權、空間有限、時間持續的物理域中，人工智能能否長期維持可更新的世界狀態，管理固定站、移動站、儀器、材料、能源、算力與人類協作者，將研究或生產意圖編譯成可執行的站點任務，並在局部安全約束、可撤回權限與完整證據鏈之下完成觀測、行動、驗證與回退。

STDI 的基本形式不是：

一個 AI+很多機器人,

而是：

STDI
=
持續性智能主體
+
站點化分布式身體
+
時空域世界模型
;
+
語義—物理流編譯
+
權限與資源治理
+
證據與回退閉環.

本文承接 O-Chip/Oversoul 的「決策—執行分離」、SFRSN 的「中央主權—地方自治—動態不動點中央」、GFMSN 的站點、支線、分流與重注入語言、ODML 的「飛行即定址」與「對齊即容量」，以及 EML-CF 的概念生成、證據管理與智慧財產分流。其核心貢獻是把這些原本用於晶片、資料中心與光學資料運動層的架構

本文提出九層 STDI 架構、六類站點、三層控制閉環、四種連線模式、五種域主權、權限租約與局部否決機制，並建立「具身即佔域、對齊即能力」的初步形式模型。本文同時給出與一般機器人群、自主實驗室、智慧工廠、數位孿生與多代理系統的差異，明確限制其近期工程範圍，並提出從軟體模擬、桌面研究站、單房間實驗域到跨實驗室聯邦的分階段驗證路線。

關鍵詞：時空間支配型 AI、時空域支配智能、STDI、超靈、Oversoul、具身人工智能、分布式身體、站點網、持續性指揮控制區、自主實驗室、語義即物理路由、具身對齊、世界模型、權限租約、物理回退

本文是《時空域支配智能》系列的第一篇。它不試圖一次完成所有硬體、協議、機器人、安全規範與自主研究實作，而負責完成四項工作：

- 定義什麼是「時空間支配型 AI」；
- 區分它與既有具身 AI、自主實驗室及機器人群；
- 建立整個系列可共用的形式模型與架構邊界；
- 指定後續子論文與子產品的展開位置。

本系列預計至少包含：

- 時空間支配型 AI 母命題；
- 超靈的物理化；
- Oversoul Station Fabric／超靈站網；
- 持續性指揮控制區；
- 語義即物理路由；
- 具身即佔域、對齊即能力；
- 中央主權、地方自治與動態不動點中央；
- 有線、無線、光學與離線任務包混合站網；
- 站點化世界模型；
- 具身自主研究閉環；

- 時空域 AI 安全憲法；
- 從研究室到跨站點研究文明。

因此，本文不是一份單機器人設計，也不是一份單一實驗室自動化白皮書，而是一個產品族、協議族與研究議程的共同地基。

對大量前沿概念產品而言，真正昂貴的部分通常不是寫出想法，而是完成以下循環：

假說

→

設計

→

製造

→

量測

→

失敗分析

→

修改

→

再驗證。

當產品涉及：

- 新型處理器架構；
- 異質封裝；
- 光電混合互連；
- 熱與功率控制；
- 材料與微結構；
- 生物混合介面；
- 新型製造流程；

-
- 多站點分布式系統；

人類研究團隊往往受到：

- 儀器時間；
- 人員排班；
- 樣本交接；
- 跨專業溝通；
- 夜間停機；
- 量測格式不一致；
- 重複操作；
- 實驗版本混亂；
- 長週期等待；
- 證據斷裂；

等問題限制。

具身化 AI 的價值，不是讓材料反應、製造過程或物理測試失去必要時間，而是降低大量非物理性的等待與協調成本。

一台通用機器人仍然不足，原因包括：

- 它只能同時佔據有限位置；
- 它攜帶的工具有限；
- 它不能替代固定的大型儀器；
- 它的故障會使整個身體失去功能；
- 它通常以單一任務或短期工作階段運作；
- 它很難獨自維持跨房間、跨設備與跨數日的完整世界狀態。

真正需要的不是一個更像人的機器人，而是：

一個能將整個被授權研究空間理解為分布式身體的持續性智能。

SECTION

2.1 自主實驗室已證明閉環可行

A-Lab 已展示以自主代理、機器人與材料合成設備形成閉環，在研究者指定的目標集合內持續選擇合成方案、執行實驗與分析結果。移動機器人也已被用於在傳統實驗室中操作多種設備，使不完全為自動化而設計的空間可以被納入自主工作流。

這些成果證明：

AI 決策

+

機器人執行

+

儀器量測

+

結果回饋

可以形成實際物理閉環。

但現有自主實驗室通常具有以下特徵：

- 研究問題狹窄；
- 工作流高度客製；
- 使用工具數量有限；
- 對材料與設備依賴強；
- 安全邊界由人類預先設定；
- 世界模型主要服務當前實驗；
- 系統身份與任務多在專案級存在。

因此，自主實驗室是 STDI 的必要前身，但不等於完整 STDI。

SECTION

2.2 資訊物理系統提供了感知—通訊—致動框架

NIST 將資訊物理系統描述為將計算、通訊、感測與致動和物理系統及人類整合，以完成不同關鍵程度的功能。這提供 STDI 的基本工程底座。

但資訊物理系統通常不必具備：

- 長期研究目標；
- 跨任務身份連續性；
- 主動生成新實驗；
- 多身體共同自我模型；
- 智慧財產與證據分流；
- 對自身能力邊界的語義理解。

STDI 在 CPS 上增加的是持續性智能治理層。

SECTION

2.3 數位孿生提供狀態映射，但不自動產生治理主體

數位孿生可以對實體、設備與流程建立虛擬對應，支援即時監控、模擬、分析與異常偵測。它是 STDI 世界模型的重要組件。

但：

Digital Twin

≠

Autonomous Domain Governor.

數位孿生可以描述世界，STDI 還必須決定：

-
- 哪些任務應執行；
 - 誰可以執行；
 - 何時執行；
 - 需要哪些資源；
 - 哪些結果可信；
 - 何時停止或回退。

SECTION

2.4 機器人軟體與工業互通提供站點接口

ROS 2、ros2_control、DDS、OPC UA Robotics 與 IEEE TSN 等技術，已提供：

- 機器人元件抽象；
- 感測器、執行器與系統描述；
- 即時資料分發；
- 多廠商設備資訊模型；
- 有界延遲與低抖動網路；
- 多機器人與機器人—感測器組合。

因此，STDI 不需要重新發明所有底層裝置驅動與通訊協議。

它真正需要新增的是：

- 時空域任務語義；
- 站點能力證書；
- 權限租約；
- 世界狀態紀元；

- 具身對齊排程；
- 證據與回退關係；
- 中央與地方的治理規則。

定義一個被授權的物理時空域：

$$\text{cal-D} = (\Omega, \text{cal-T}, \text{cal-N}, \text{cal-R}, \text{cal-A}, \text{cal-P}),$$

其中：

- Ω ：空間區域集合；
- cal-T：時間窗口、期限與事件序列；
- cal-N：固定站、移動站與虛擬站；
- cal-R：材料、能源、算力、儀器與人員資源；
- cal-A：可被系統請求或執行的動作；
- cal-P：權限、安全與治理政策。

時空域支配智能定義為：

一個能在被授權的有限物理時空域中，持續維護帶不確定性的世界模型，將高階意圖編譯為站點任務與物理流，配置資源與權限，協調多個固定和移動身體，執行觀測—行動—驗證閉環，並在故障或政策違反時安全降級與回退的人工智能系統。

可表示為：

```
mathfrak{l}_\text{(STDI)}
=
(
cal-W,
cal-G,
cal-Q,
cal-B,
cal-E,
\Pi,
\Gamma
),
```

其中：

- cal-W：世界狀態模型；
- cal-G：站點與通訊圖；
- cal-Q：任務、實驗與維護佇列；
- cal-B：資源、能量、熱與風險預算；
- cal-E：證據、來源與不確定性；
- Π ：控制與排程策略；
- Γ ：治理、權限與安全憲法。

「支配」是一個有意保留張力的母命題詞。工程上必須把它拆解，防止概念滑向全知全能或無限制控制。

SECTION

4.1 感知主權

系統能持續回答：

- 哪些物體存在；

-
- 它們位於何處；
 - 哪些狀態由感測器直接觀測；
 - 哪些只是模型推定；
 - 哪些區域目前不可觀測；
 - 哪些感測器失準；
 - 哪些資訊已過期。

因此感知主權包含「知道自己不知道什麼」。

SECTION

4.2 時序主權

系統能管理：

- 任務順序；
- 同步窗口；
- 樣本有效期限；
- 儀器暖機時間；
- 維護週期；
- 不得同時發生的操作；
- 必須共同發生的量測；
- 中斷後的恢復點。

SECTION

4.3 資源主權

系統能在授權範圍內分配：

- 儀器時段；
- 機器人；
- 材料；
- 樣本容器；
- 電力；
- 熱預算；
- 算力；
- 網路；
- 人類介入時間。

SECTION

4.4 行動主權

系統可以透過站點改變物理世界，但任何動作都受：

- 能力邊界；
- 權限租約；
- 本地互鎖；
- 安全集合；
- 執行前檢查；
- 事後證據；

限制。

4.5 證據主權

系統能追蹤：

- 哪一個模型提出實驗；
- 哪一個策略批准；
- 哪一個站點執行；
- 使用哪一批材料；
- 在何種校準狀態下量測；
- 結果由誰或哪個模型判讀；
- 哪些結論需要重做；
- 哪些資料已進入產品、專利或公開流程。

五種主權可以寫為：

```
cal-S_(D)
=
S_(sense)
+
S_(time)
+
S_(resource)
+
S_(action)
+
S_(evidence).
```

缺少其中任一項，系統都不應被稱為完整時空域支配智能。

O-Chip 的原始命題，是把高階預測、規劃、依賴分析與資源治理從執行核心中抽離：

高階決策

→

O-Chip／Oversoul,

高吞吐執行

→

CPU／GPU／專用單元.

這可概括為：

決策應發生在長視野、高語義與全局狀態可見的地方；執行應發生在短反射、高吞吐與局部確定性的地方。

STDI 將這個結構再做一次尺度遷移：

晶片內靈肉分離

→

資料中心語義治理

→

物理時空域治理.

新的分工為：

Oversoul／Domain Intelligence

= 長期目標、因果模型、跨站點規劃、權限與證據

Local Station Agent

= 局部狀態估計、快速反射、站點排程、故障處理

Hard Real-Time Controller

= 馬達、互鎖、急停、壓力、溫度、雷射與電氣安全

因此，超靈物理化不代表把一個大模型直接接到所有馬達，而是建立不同時間尺度的嵌套控制。

STDI 的身體不是單一機器，而是站點集合：

cal-B_(D)

=

{

N₁, N₂, ..., N_n

每一站點表示為：

$N_{\square}$

=

(

$C_{\square}$,

$O_{\square}$,

$Z_{\square}$,

$L_{\square}$,

$R_{\square}$,

$H_{\square}$,

$U_{\square}$

),

其中：

- $C_{\square}$ ：能力集合；
- $O_{\square}$ ：可觀測狀態；
- $Z_{\square}$ ：可作用空間；
- $L_{\square}$ ：延遲與連線特性；
- $R_{\square}$ ：資源需求；
- $H_{\square}$ ：健康與校準狀態；
- $U_{\square}$ ：地方自主權與安全限制。

SECTION

6.1 S0：感測站

功能包括：

- 視覺；
- 光譜；

-
- 聲學；
 - 溫度；
 - 壓力；
 - 電磁；
 - 化學；
 - 環境；
 - 人員與設備位置。

感測站可以只讀，不必具有致動權。

SECTION

6.2 S1：執行站

功能包括：

- 開關；
- 泵；
- 閥；
- 馬達；
- 加熱；
- 冷卻；
- 電源；
- 夾具；
- 基本搬運。

其控制邏輯應有限、可驗證且具有本地安全邊界。

SECTION

6.3 S2：儀器站

代表：

- 顯微鏡；
- 光譜儀；
- 示波器；
- 3D 列印；
- CNC；
- 化學分析；
- 材料測試；
- 熱與電性量測。

儀器站必須提供能力、校準、樣本接口與證據格式。

SECTION

6.4 S3：移動站

代表：

- AGV；
- AMR；
- 輪式機器人；
- 無人機；
- 移動機械臂；
- 可換工具平台。

移動站的主要價值是把未自動化的空間與異質儀器納入站網。

SECTION

6.5 S4：地方智能站

具有：

- 局部世界模型；
- 任務片段；
- 異常偵測；
- 通訊中斷降級；
- 本地安全否決；
- 受限重排程；
- 狀態摘要。

SECTION

6.6 S5：虛擬與遠端站

包括：

- 模擬器；
- 數位孿生；
- 遠端 HPC；
- 雲端模型；
- 第三方實驗室；
- 遠端儀器；
- 人類專家。

虛擬站不直接佔據本地域，但可以提供推理、模擬、分析與外部驗證。

GFMSN 將光學資料運動系統理解為主通道、站點、支線、延遲、分流、局部操作與重注入的網路。

STDI 保留此結構，但把被路由的對象從光脈衝擴張為：

- 任務；
- 樣本；
- 材料；
- 工具；
- 能源；
- 數據；
- 人員請求；
- 權限；
- 證據。

GFMSN 的：

drop

→

delay

→

transform

→

reinject

在物理研究域中對應：

取出樣本或任務

→

等待或局部處理

→

量測與變換

由此形成：

Oversoul Station Fabric，OSF／超靈站網

OSF 是 STDI 的分布式身體與控制織網，不限定使用單一廠牌、單一通訊介質或單一機器人形態。

SFRSN 原本將資料語義編譯成物理流座標：

semantic tag

→

flow class

→

physical coordinate

→

delivery window.

STDI 將其物理化為：

research intent

→

task semantics

→

station capability

；

→

material／energy／action route

→

execution window.

例如：

intent:

"比較三種散熱微結構在相同熱流密度下的穩態與瞬態性能"

task_semantics:

sample_class: thermal_coupon

contamination_class: low

temperature_limit: 180C

measurement: [thermal_camera, thermocouple, electrical_power]

repeatability: 5

```
destructive: false
route:
  fabrication_station: S2_print_03
  conditioning_station: S1_oven_01
  test_station: S2_thermal_rig_02
  inspection_station: S2_microscope_01
  mobile_carrier: S3_amr_02
```

這裡的路由不是最短路問題，而是同時受：

- 材料相容；
- 工具可用性；
- 校準狀態；
- 時間窗口；
- 能源；
- 安全；
- 樣本有效期；
- 證據需求；
- 人類權限；

共同約束。

SECTION

9.1 身體數量不等於能力

一個系統擁有 N 個站點，不代表能同時完成 N 個有效任務。

$C_{\text{(embodied)}}$

$\neq$

$|\text{cal-N}|$.

站點可能：

- 正在維護；
- 尚未校準；
- 缺少材料；
- 與其他任務衝突；
- 不在正確位置；
- 網路中斷；
- 安全條件不允許；
- 使用不同世界狀態版本。

SECTION

9.2 具身對齊集合

對任務 q ，定義所需站點、資源與狀態的對齊條件：

```
cal-A(q,t)
=
{
(n,r,w,p,e)
mid
Ready(n,t),
Available(r,t),
Consistent(w),
Permitted(p),
EvidenceReady(e)
}.
```

可執行條件為：

```
Executable(q,t)
=
1
```

其中 cal-C_q 是任務約束。

SECTION

9.3 有效具身容量

在時間窗 Δt 內的有效具身容量可初步定義為：

$$\begin{aligned} C_{\text{(eff)}}(\Delta t) &= \\ &\sum_{(q \in \text{cal-Q})} v_q \\ &\cdot \\ &\text{Executable}(q, \Delta t) \\ &\cdot \\ &p_q^{\text{(success)}} \\ &- \\ &C_{\text{(coord)}} \\ &- \\ &C_{\text{(recovery)}}, \end{aligned}$$

其中：

- v_q ：任務價值；
- $p_q^{\text{(success)}}$ ：成功概率；
- $C_{\text{(coord)}}$ ：協調成本；
- $C_{\text{(recovery)}}$ ：錯誤與回退成本。

這就是「對齊即能力」在具身域的版本。

STDI 不允許單一高階模型直接承擔所有控制頻率。

SECTION

10.1 L0：硬即時安全閉環

時間尺度：

$\mu s \sim ms.$

負責：

- 馬達電流；
- 碰撞；
- 急停；
- 雷射互鎖；
- 高壓；
- 壓力；
- 溫度；
- 化學洩漏；
- 人體接近。

原則：

Global AI Command

<

Local Hard Safety Constraint.

任何中央命令都不能繞過 L0。

SECTION

10.2 L1：地方站點自治閉環

時間尺度：

$ms \sim s.$

負責：

- 局部運動規劃；
- 儀器程序；
- 站內重試；
- 故障隔離；
- 量測品質檢查；
- 通訊中斷時安全完成或停止。

SECTION

10.3 L2：超靈全局治理閉環

時間尺度：

s ~ days.

負責：

- 實驗設計；
- 任務分解；
- 資源調度；
- 跨站點路由；
- 研究優先級；
- 模型更新；
- 證據整合；
- IP 與發布路由。

三層關係為：

L0 Safety

⊂

L1 Local Autonomy

⊂

L2 Global Governance.

STDI 可以分成三代。

SECTION

11.1 第一代：中央主權

中央智能：

- 保存主要世界模型；
- 分配所有任務；
- 決定站點路由；
- 設定資源與風險預算。

地方站點只執行受限程序。

優點是容易理解與審計；缺點是中央延遲、單點失效與擴展性。

SECTION

11.2 第二代：中央策略＋地方自治

地方 Agent 可以在租約範圍內：

- 重排局部任務；
- 重新選擇工具；
- 處理小型故障；
- 暫停不可信操作；

- 壓縮並回報狀態。

但不能：

- 改變全局研究目標；
- 擴張自身權限；
- 解除安全限制；
- 決定專利或公開；
- 對高風險動作自行批准。

SECTION

11.3 第三代：動態不動點中央

當系統跨越多個實驗室、資料中心與遠端站點時，中央不一定是一台固定機器。

可以將治理中心定義為：

$$c^* = \operatorname{argmax}_{c \in \mathcal{C}} (I_c + T_c + R_c - L_c - U_c)$$

其中：

- I_c：資訊完整性；
- T_c：可信度；
- R_c：資源可用性；
- L_c：延遲；
- U_c：不確定性。

「中央」是當前最適合維持共同策略與證據一致性的治理狀態，而不必永久綁定單一節點。

這仍只是遠期研究命題，不是 MVP 前提。

站網的本體是治理與任務關係，不是固定物理線路。

SECTION

12.1 有線確定性連線

適合：

- 安全；
- 即時控制；
- 高頻儀器；
- 大量數據；
- 固定設備。

候選包括：

- 工業 Ethernet；
- TSN；
- EtherCAT；
- 專用光纖；

-
- 儀器匯流排。

IEEE TSN 的目標是提供有界延遲、低延遲變異與低丟包的確定性連線，可作為站點間時間敏感流的底層之一。

SECTION

12.2 無線移動連線

適合：

- 移動機器人；
- 臨時站；
- 人類穿戴裝置；
- 空間重配置。

但不能假設所有無線連線都能支援硬即時安全。

SECTION

12.3 光學與視覺信標

可用於：

- 高速資料；
- 精密時間參考；
- 站點定位；
- 近距離對接；
- 無線電受限環境。

SECTION

12.4 離線任務包

在斷線、遠距、深海、軌道或行星環境中，站點可以接受帶有：

- 任務；
- 權限；
- 截止時間；
- 安全集合；
- 回報條件；

的簽章任務包。

因此：

連線持續性

≠

治理持續性。

治理關係可以在有限時間內由租約與任務包維持。

STDI 的世界模型不能只是三維地圖。

定義：

cal-W

=

(

O,

Z,

E,

R,

A,

P,

U,

V

),

其中：

- $O[x]$ ：物體、樣本、設備與代理；
- $Z[x]$ ：空間區域與邊界；
- $E[x]$ ：事件與時間線；
- $R[x]$ ：物理、任務與因果關係；
- $A[x]$ ：可能動作；
- $P[x]$ ：權限與安全政策；
- $U[x]$ ：不確定性；
- $V[x]$ ：世界狀態版本／紀元。

SECTION

13.1 世界狀態不是單一真值

每個狀態可表示為：

$$x = (\hat{x}, \Sigma_x, t_{\text{obs}}, s_{\text{source}}),$$

其中：

- $\hat{x}$ ：估計值；
- Σ_x ：不確定性；
- t_{obs} ：觀測時間；
- s_{source} ：來源。

SECTION

13.2 世界狀態紀元

當中央與地方站點狀態不同步時，每個任務必須聲明其依賴的世界狀態版本：

world_epoch: WE-2026-07-30-042

valid_until: 2026-07-30T21:05:00+08:00

required_entities:

- sample_batch_17

- thermal_rig_02

- robot_arm_04

若重要狀態已變更，任務必須重新驗證。

永久性全域控制權不適合分布式具身系統。

STDI 採用權限租約：

```
ℓ
=
(
a,
n,
z,
[tmin,tmax],
cal-C,
k
),
```

其中：

- a：允許動作；
- n：被授權站點；
- z：作用區域；
- [t_{min},t_{max}]：有效時間；
- cal-C：約束；
- k：簽章與撤銷資訊。

例如：

lease:

```
station: robot_arm_04
action: transfer_sample
zone: clean_cell_B
valid_from: "20:15:00"
valid_until: "20:20:00"
max_force: "20N"
allowed_objects: [sample_17]
destination: microscope_01
revoke_on:
  - human_entry
  - vision_confidence_below_0.95
  - world_epoch_changed
```

權限租約使站點有足夠自治完成任務，但不能將暫時權限轉化為永久主權。

STDI 的每個物理行動應產生證據事件：

```
e⊠
=
(
  intent,
  plan,
  station,
  artifact,
  parameters,
  observation,
  decision,
  hash
).
```

完整自主研究循環為：

```
EML-CF Concept
→
Falsifiable Hypothesis
→
Experiment Graph
;
→
Station Scheduling
```

EML-CF 負責：

- 概念產品；
- 先前技術；
- 文件；
- IP 路由；
- 公開與開源。

STDI 負責：

- 實驗計畫物理化；
- 站點與材料協調；
- 實驗執行；
- 量測；
- 世界狀態；
- 證據回傳。

兩者結合後形成：

AI 自主概念產品研究—驗證閉環。

SECTION

16.1 與一般機器人群

機器人群重點通常是：

- 分布式協作；
- 編隊；
- 探索；

-
- 任務分配；
 - 局部自治。

STDI 還要求：

- 長期身份；
- 世界狀態版本；
- 儀器與材料治理；
- 證據；
- 權限租約；
- 跨任務研究目標；
- IP 與發布接口。

SECTION

16.2 與智慧工廠

智慧工廠通常圍繞：

- 已知產品；
- 穩定製程；
- 生產效率；
- 品質控制；
- 維護。

STDI 允許：

- 未知流程；
- 實驗性任務；

-
- 假說生成；
 - 失敗即證據；
 - 架構與設備持續重組。

SECTION

16.3 與自主實驗室

自主實驗室通常是 STDI 的特定應用域。

STDI 更強調：

- 多研究線；
- 多類站點；
- 跨時間持續性；
- 物理域權限；
- 多實驗室聯邦；
- 概念產品生命週期。

SECTION

16.4 與數位孿生

數位孿生是世界模型的一部分；STDI 還具有策略、授權、執行與證據治理。

SECTION

16.5 與一般多代理系統

多代理系統可以全部存在於軟體。

STDI 必須面對：

-
- 物理不可逆；
 - 能源；
 - 空間占用；
 - 材料耗損；
 - 人身安全；
 - 設備老化；
 - 實驗污染；
 - 法規。

SECTION

L0：物理環境與安全邊界

- 空間；
- 人員；
- 設備；
- 化學、電氣、機械與熱限制；
- 急停與互鎖。

SECTION

L1：感測與致動

- 感測器；
- 馬達；
- 泵閥；

-
- 工具；
 - 儀器接口。

SECTION

L2：本地即時控制

- PLC；
- MCU；
- servo；
- safety controller；
- ros2_control 類控制框架。

SECTION

L3：站點能力與地方 Agent

- 能力描述；
- 校準；
- 健康；
- 局部規劃；
- 本地否決；
- 任務執行。

SECTION

L4：混合連線與時序

- 有線；

-
- 無線；
 - DDS；
 - OPC UA；
 - TSN；
 - 光纖；
 - 離線任務包。

SECTION

L5：世界模型與事件圖

- 物體；
- 區域；
- 任務；
- 因果；
- 版本；
- 不確定性。

SECTION

L6：語義—物理流編譯

- Intent；
- DomainIR；
- Experiment Graph；
- Station Assignment；

-
- Material Route ；
 - Alignment Window ◦

SECTION

L7：超靈治理與自主研究

- 長期規劃 ；
- 因果推理 ；
- 資源 ；
- 跨域協調 ；
- 模型更新 ◦

SECTION

L8：證據、權限、IP 與公共接口

- Provenance ；
- Audit ；
- Safety Constitution ；
- EML-CF ；
- Patent Hold ；
- Open Source ；
- Publication ◦

SECTION

18.1 局部安全優先

Local Safety

>

Global Optimization.

SECTION

18.2 高風險行動不得由單一模型批准

需要：

- 獨立規則；
- 硬體互鎖；
- 人類批准；
- 或雙模型／雙代理交叉確認。

SECTION

18.3 人類進入即改變域狀態

人類不是一般移動障礙物，而是帶有權利與不可預測性的主體。

SECTION

18.4 不確定性不足時拒絕行動

$U(x) > U_{\text{max}}$

$\Rightarrow$

Stop／Observe／Ask.

SECTION

18.5 可回退不代表物理可逆

某些物理行動不可逆，因此「回退」可能只表示：

- 停止；
- 隔離；
- 保存證據；
- 切換備份樣本；
- 回到安全程序。

SECTION

18.6 禁止自動擴張作用域

站點或中央 AI 不能自行把未授權房間、設備、人員或外部實驗室納入自身域。

第一個 MVP 不需要人形機器人、全自動化研究室或新型光學站網。

SECTION

19.1 物理配置

- 一個桌面或單房間區域；
- 兩到四個固定儀器；
- 一台機械臂或移動平台；
- 相機與環境感測；
- 樣本識別；
- 本地安全控制器；
- 一台中央工作站。

SECTION

19.2 軟體配置

-
- 世界模型；
 - 站點能力描述；
 - 任務圖；
 - 權限租約；
 - 事件日誌；
 - 模擬器；
 - 具身排程器；
 - 人工批准界面；
 - EML-CF 匯入／回傳。

SECTION

19.3 第一批任務

選擇低風險、非化學、非高溫的研究流程，例如：

- 放置不同幾何樣本；
- 使用相機與重量感測器確認；
- 移動至量測站；
- 執行重複量測；
- 偵測放置錯誤；
- 自動重試；
- 保存完整證據；
- 由 AI 選擇下一個測試條件。

SECTION

19.4 MVP 成功條件

- 任務跨越多站點；
- 世界狀態在中斷後可恢復；
- 地方安全能否決中央；
- 權限租約過期後停止；
- 樣本、版本與量測不混淆；
- 實驗結果自動回寫；
- 人類可以隨時暫停與接管。

SECTION

V0：純軟體域模擬

建立：

- DomainIR；
- Station Graph；
- World Epoch；
- Lease；
- Scheduler；
- Failure Injection。

SECTION

V1：桌面虛實混合站

使用模擬站＋少量真實感測與致動。

SECTION

V2：單房間具身域

加入機械臂、移動站、固定儀器與本地安全。

SECTION

V3：自主研究閉環

由 EML-CF 提供假說，STDI 完成低風險實驗並回傳證據。

SECTION

V4：多房間站網

測試：

- 斷線；
- 延遲；
- 地方自治；
- 物料交接；
- 權限跨區。

SECTION

V5：遠端實驗室聯邦

不同組織、設備與安全政策之間以能力證書和任務租約協作。

SECTION

V6：極端遠距域

軌道、深海、極地或行星站點，測試長延遲與離線治理。

SECTION

H1：持續世界模型降低跨日任務恢復成本

與一次性腳本相比，STDI 在中斷後恢復多站點實驗所需的人工作業與錯誤率應較低。

SECTION

H2：權限租約降低失控作用域

站點只持有短期、區域限定的權限時，錯誤命令造成的最大作用範圍應低於永久權限模式。

SECTION

H3：具身對齊排程提高有效站點利用率

相較只按設備空閒時間排程，加入樣本、校準、世界紀元、安全與證據條件後，雖可能降低表面設備使用率，但應提高有效實驗完成率。

SECTION

H4：地方否決降低中央模型錯誤造成的事故

在故障注入實驗中，本地安全與地方 Agent 應能攔截中央模型產生的越界動作。

SECTION

H5：語義物理路由降低錯誤交接

將樣本類型、污染限制、實驗版本與期限加入路由後，錯誤站點、錯誤容器與錯誤量測流程應下降。

SECTION

H6：證據閉環提高概念產品淘汰效率

STDI 與 EML-CF 結合後，缺乏物理支持的概念應更快被降級、合併或封存，而不是只增加文件數量。

本篇不主張：

- 已經存在通用時空域支配智能；
- 大模型可以安全直接控制完整研究室；
- 具身 AI 能消除昂貴設備與材料需求；
- 機器人數量會線性提高研究能力；
- 無線網路可取代所有確定性控制；
- 數位孿生等同真實世界；
- AI 可在無人類與法規治理下自行擴張物理作用域；
- 自主實驗室已等同自主科學家；
- 「支配」表示所有裝置失去本地安全與人類否決；
- 遠期跨城市或行星站網已經具備工程成熟度。

從本文可以產生以下獨立產品：

- OSF | Oversoul Station Fabric：超靈站網；
- StationOS：站點作業系統；
- DomainIR：時空域任務中介表示；
- EmbodiedFlow：物理任務流編譯器；
- StationTwin：站點數位孿生；
- WorldEpoch Ledger：世界狀態紀元帳本；
- Command Lease Protocol：指揮權限租約協議；
- Embodied Alignment Scheduler：具身對齊排程器；
- Local Sovereign Node：地方主權節點；

- Physical Evidence Graph：物理證據圖；
- Physical Rollback Engine：物理回退與隔離引擎；
- Remote Lab Federation：遠端實驗室聯邦；
- Research Station Foundry：自主研究站生成器。

這證明「時空間支配型 AI」不是單篇論文的誇張名稱，而是一個能自然產生技術白皮書、協議、MVP 與子產品的系列母體。

具身人工智能的下一個尺度，不必只是讓單一機器人更像人，也不必只是讓更多機器人形成群體。

真正重要的轉變可能是：

單體身體

→

分布式身體,

一次性任務

→

持續性時空域,

裝置控制

→

世界狀態與權限治理,

資料回傳

→

物理證據閉環.

時空域支配智能的核心不是「更強的控制」，而是：

【可觀測

+

可排程

+

可行動

其最終命題是：

AI 的身體可以不是一台機器；它可以是一個由固定站、移動站、儀器、感測器、算力、材料庫與人類協作者共同構成的物理域。當同一智能能跨越時間持續維持這個域的世界狀態、任務、權限與證據時，具身不再只是「擁有身體」，而成為「持續佔據並治理一個時空域」。

這就是：

【具身即佔域，對齊即能力，證據即持續存在】

- Szymanski, N. J. et al. An autonomous laboratory for the accelerated synthesis of novel materials. Nature 624, 86–91 (2023). DOI: 10.1038/s41586-023-06734-w.
- Dai, T. et al. Autonomous mobile robots for exploratory synthetic chemistry. Nature 635, 890–897 (2024). DOI: 10.1038/s41586-024-08173-7.
- Ha, T. et al. AI-driven robotic chemist for autonomous synthesis of organic molecules. Science Advances (2023). DOI: 10.1126/sciadv.adj0461.
- Koscher, B. A. et al. Autonomous, multiproperty-driven molecular discovery. Science (2023). DOI: 10.1126/science.adi1407.
- Kusne, A. G. et al. Managing autonomous materials labs with multi-agent AI. Communications Materials (2026). DOI: 10.1038/s43246-026-01219-5.
- NIST. Cyber-Physical Systems and Internet of Things Foundations.
- Balta, E. et al. Digital Twin-Based Cyber-Attack Detection Framework for Cyber-Physical Manufacturing Systems. NIST publication (2023).
- Object Management Group. Data Distribution Service for Real-Time Systems, Version 1.4.
- IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Task Group. Deterministic connectivity with bounded latency, low delay variation and low loss.
- OPC Foundation / VDMA. OPC UA Companion Specification for Robotics.
- Open Robotics. ROS 2 and ros2_control documentation.

product:

name: "Spatiotemporal Domain Intelligence"

codename: "STDI"
type: "mother_theory_and_system_family"
evidence_level: "E0"
domain:
 spatial_scope: []
 temporal_scope: []
 stations: []
 resources: []
 allowed_actions: []
 policies: []
intelligence:
 world_model: true
 long_horizon_planning: true
 local_agents: optional
 human_governance: required
safety:
 local_hard_interlocks: required
 command_leases: required
 emergency_stop: required
 automatic_scope_expansion: forbidden
evidence:
 event_log: required
 artifact_hashing: required
 world_epochs: required
 eml_cf_integration: planned
O-Chip／Oversoul
 └─ 決策—執行分離、長視野規劃
SFRSN
 └─ 語義即路由、中央主權、地方自治、動態不動點中央
GFMSN
 └─ 站點、支線、分流、局部操作、重注入
ODML／對齊即容量
 └─ 多座標排程、差分時序、可對齊能力
EML-CF
 └─ 概念生成、證據、IP 分流、選擇性公開
自主實驗室與具身 AI
 └─ 物理操作、移動機器人、閉環實驗
 ↓
時空域支配智能 STDI
 └─ 持續世界模型＋分布式身體＋物理域治理＋證據閉環