

第6回：製品と生産システムの歴史： 自動車を中心に(2)

1. アメリカ的製造システムの歴史
2. フォードシステム
3. テーラーシステム
4. 現代の米国製造業の評価
5. リーン生産システム

東京大学経済学部

藤本隆宏

1. アメリカ的製造システムの歴史

19世紀における「アメリカ的製造システム」
(American System of Manufacturers)

(1) 部品の互換性 (interchangeable parts)

(2) 生産設備の専用化 (special-purpose machines)

19世紀半ばのイギリス人が注目した。

ただし、コンセプトと現実とを区別して考える必要あり。

言っただけでは出来てはいなかった(ハウンシェル説)

アメリカ的製造方式の歴史

(Abernathy, Clark and Kantrow, Industrial Renaissance, 1983)

第1期: 1800年ごろ、兵器産業から始まる。

イーライ・ホイットニー (Eli Whitney) によるマスケット銃の生産。

部品互換性の元祖といわれるが、実際にはそれほどできていなかった？
(むしろ、スプリングフィールド銃の生産の方が重要？)

第2期: 19世紀前半

工作機械産業を媒介に、兵器産業からミシン、タイプライターなどに伝播。

立役者はシンガー (Singer) のミシン。

互換性に加え、複数モデル間で共通部品化。

ただし、実際には、互換性はあまり達成されていなかった (fitter の存在)

むしろ、マーケティングのうまさかシンガーの成功の鍵か？

19世紀半ばのミシン工場

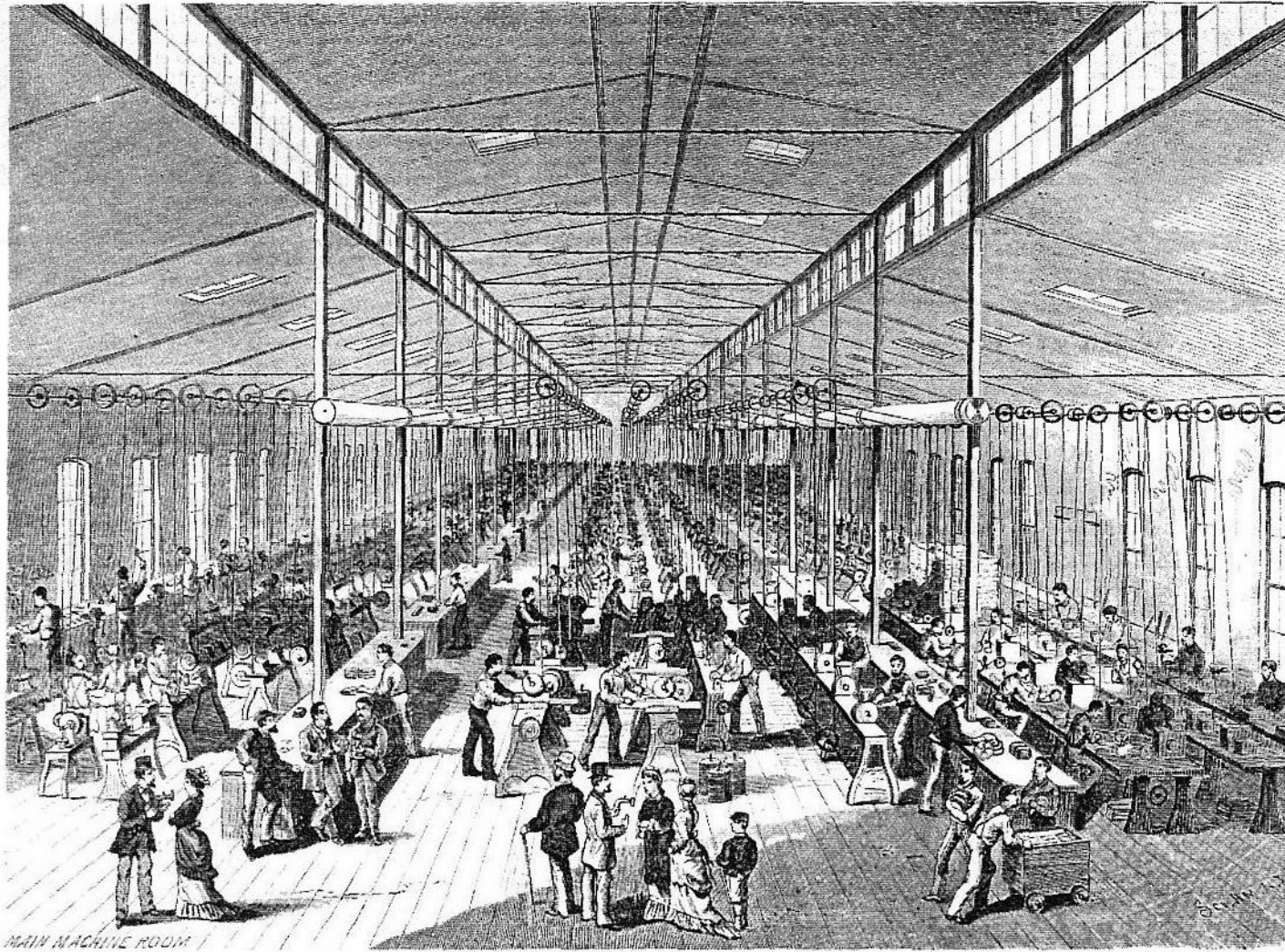


FIGURE 2.1. Machine Shop, Wheeler and Wilson Manufacturing Company, 1879. (*Scientific American*, May 3, 1879. Eleutherian Mills Historical Library.)

工作機械はベルト伝達式で動力は1箇所集中

19世紀半ばのミシン工場

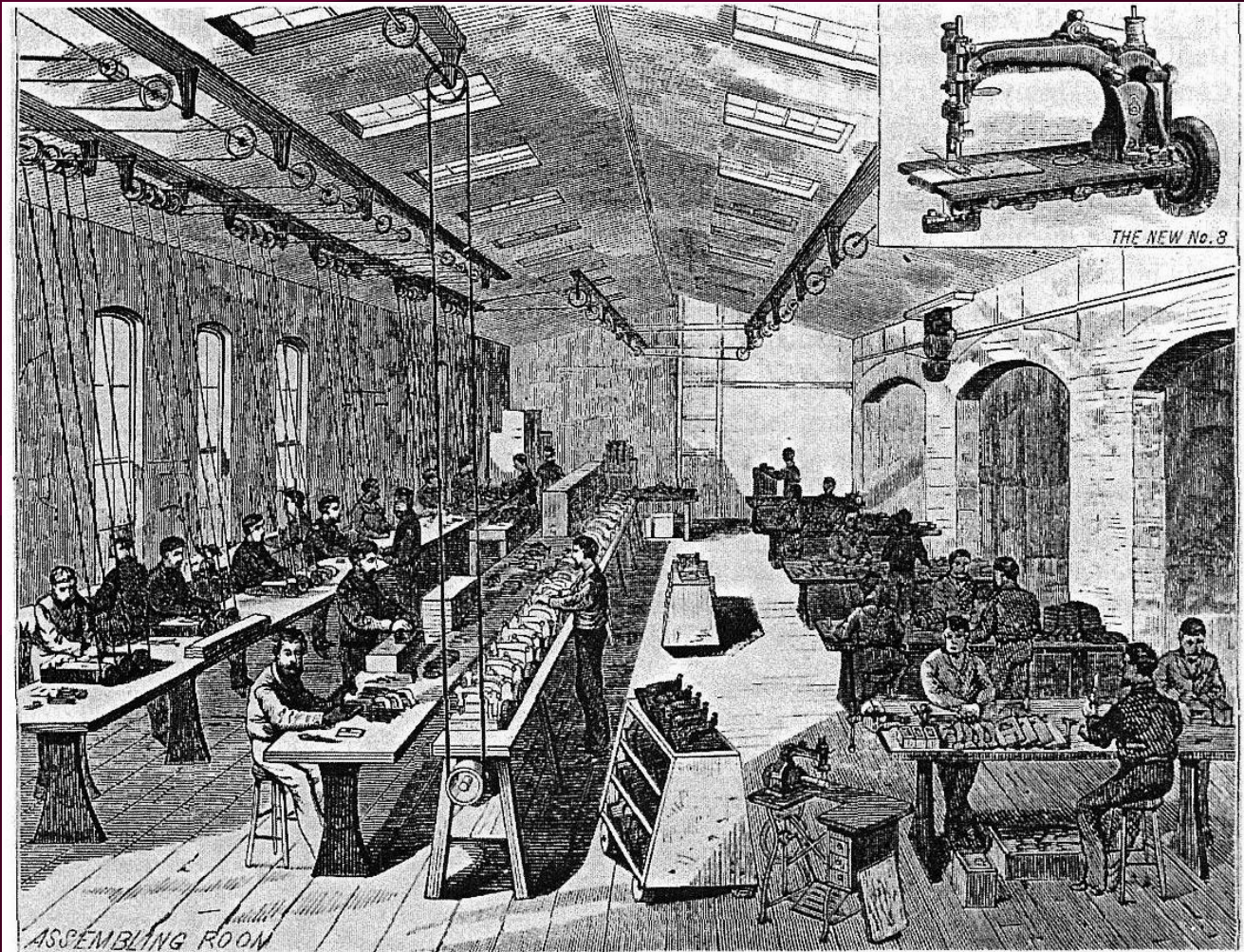


FIGURE 2.2. Assembly Room, Wheeler and Wilson Manufacturing Company, 1879. As depicted in this illustration, workmen individually assembled the Wheeler and Wilson sewing machine at worktables. Contrary to the earlier claims of the company, files and vises are evident. The bearings of finished sewing machines lined up down the center are being broken in by running the machines. (*Scientific American*, May 3, 1879. Eleutherian Mills Historical Library.)

19世紀半ばのミシン工場

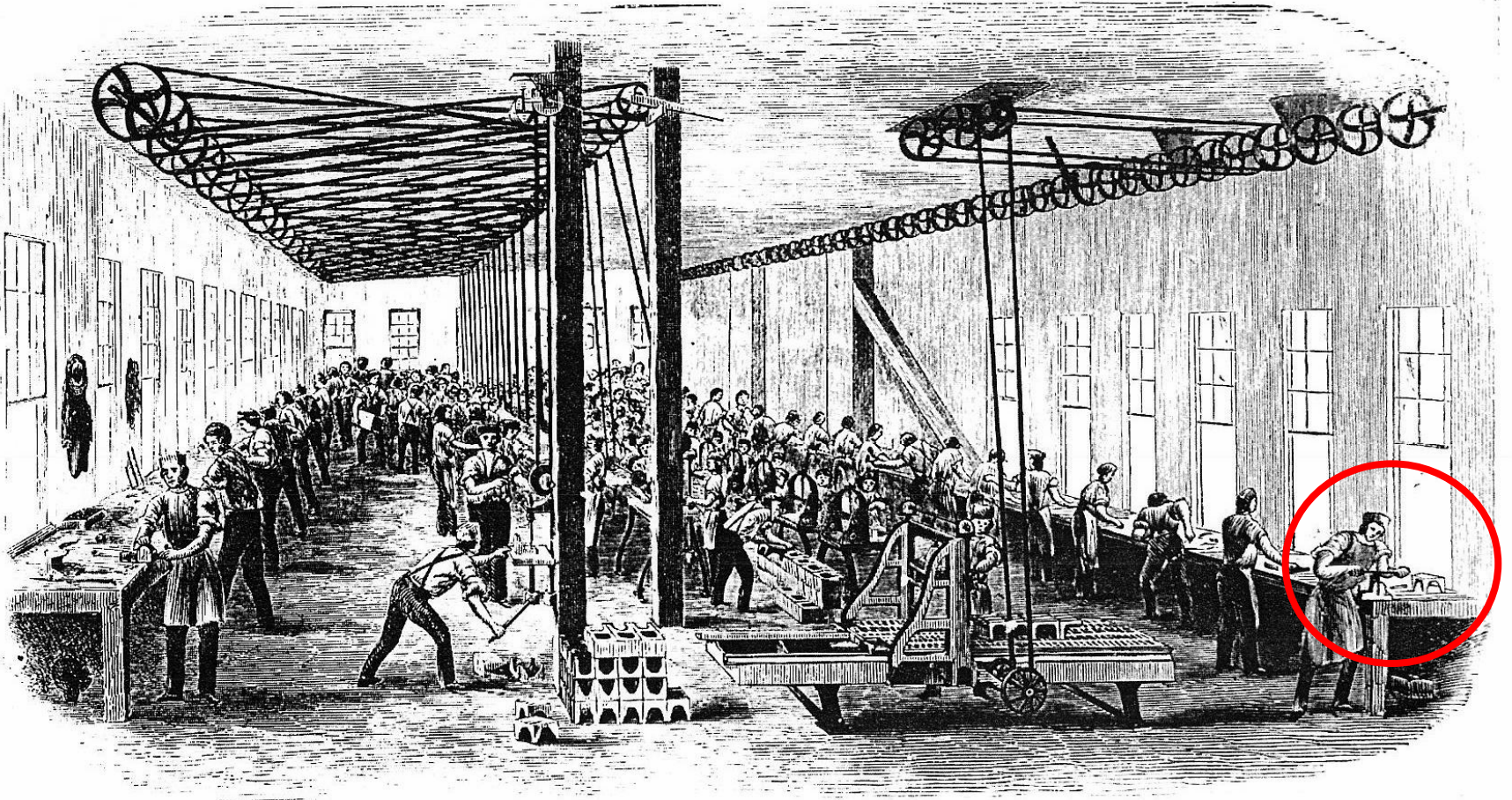


FIGURE 2.10. I. M. Singer & Co.'s New York Factory, 1854. Note the scarcity of machine tools compared to the large number of hand filers and fitters. (*United States Magazine*, September 15, 1854. Smithsonian Institution Photograph.)

やすりがけをする「**フィッター**」に注目！ 部品互換性はまだできていなかった。

第3期: 19世紀半ば

立役者はコルトの拳銃(マコーミックの農業機械も)。

モデルチェンジの概念を導入。

旧モデルと新モデルの間で、世代を超えた部品共通化(流用化)。

しかし、現実には、依然として部品互換性や設備専用化は不完全。

第4期: 19世紀末; 自転車、馬車、初期の自動車の時代

企業を超えた部品共通化・汎用化(粗野なオープン・アーキテクチャ)

比較的大きな部品メーカー、群小の組立メーカー(寄せ集め式の組立)

自転車・馬車から自動車への生産技術・製品技術移転

プレス、抵抗溶接は自転車発

馬車からシート、ステアリング、ブレーキ; 自転車からワイヤー式ホイール

19～20世紀アメリカの設計・生産方式の変遷(設計共通化・製造互換性の視点)

	モデル専用部品	モデル間共通部品 (多品種化対応)	世代間共通部品 (モデルチェンジ対応)	企業間共通部品 (業界標準部品)
部品互換性なし (概念は喧伝されたが)	E.ホイットニー (19世紀初め)	シンガー・ミシン (19世紀後半)	コルト銃 マコーミック (19世紀半ば)	自転車 (1890年代)
部品互換性あり (十分な加工精度達成)	スプリング フィールド銃 (19世紀初め)			
大量生産・低コスト 化と連動	フォード方式 (1910年代)	GMのスローン方式 (フルライン・年次モデルチェンジ) (1920年代)		現代の自転車 (オープン・アーキテク チャ製品)

出所: アバナシー・クラーク・カントロー(前掲書)、ハウンシェル(前掲書)などより筆者作成。

2. フォード・システム

アメリカ的製造方式の「真打ち」登場（アバナシーの第5期）

その特徴は：

- (1) 専用機械の加工精度向上 → 真の「部品互換性」を達成
- (2) プレス工程の内製化
- (3) ムービングアッセンブリーライン（移動組立方式）
- (4) 以上にもとづく本格的な大量生産（mass production）

1913年ごろ完成。立役者はヘンリー・フォードだが、実際は、フォード社の生産技術者や現場の人々による実験、試行錯誤、工程改善の積み重ね。

フォードシステムは移動式組立ラインばかりではないことに注意。

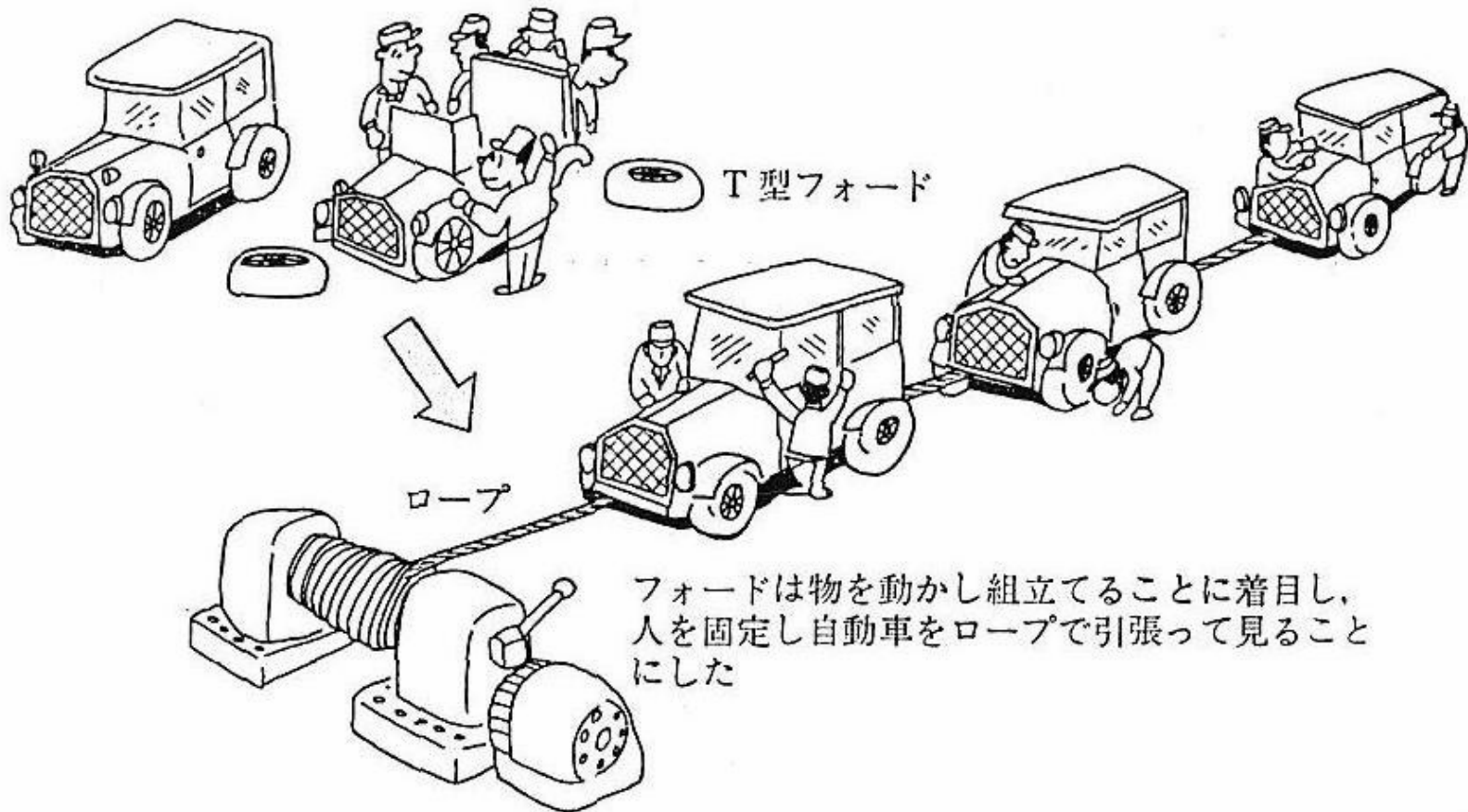
フォード生産システムの形成

年		1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915
製品開発	コンセプト創出	→ T型発売									
	設計・試作	→									
機械加工工程	部品互換性(加工精度)	→									
	専用工作機の開発	→									
	製品別レイアウト	→									
	原料・仕掛品在庫の圧縮	→									
組立工程	サブアッセンブリーのライン化	→ 実験・失敗									
	車両アッセンブリーのライン化	→									
	組立ラインの移動コンベア化	→									
	重力式の部品供給	→									

注:ハウシエル(前掲書)などより筆者作成。

移動式組立ライン…逆転の発想（部品やヒトではなくボディを動かす）

それまでは物を固定し、人が動くジブシー生産方式であった
（黒山のように人がたかって1台の自動車を組み立てていた）



フォードの1個流し誕生の図

移動式組立ラインのヒントは
シカゴの食肉業者の
「解体ライン」にあった

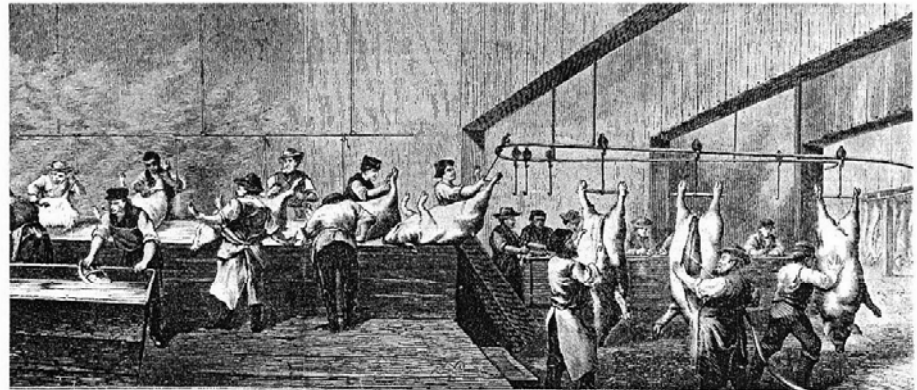
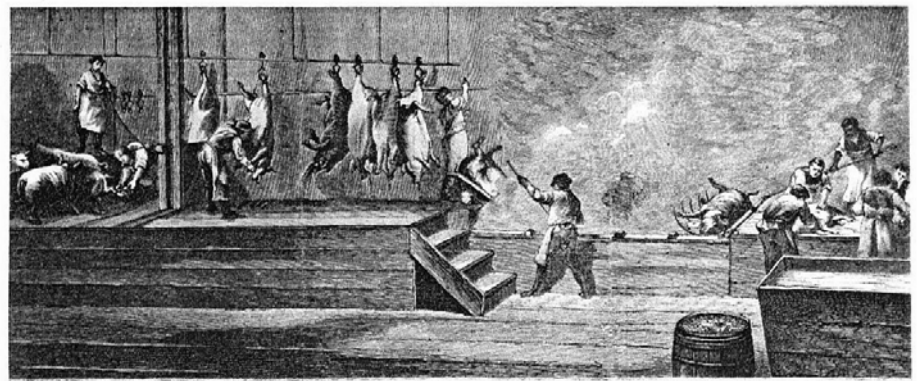


FIGURE 6.18. “Disassembly” Line, Slaughterhouse, 1873. An early example of “flow” production, slaughterhouses such as this one began first in Cincinnati and later became famous in Chicago, the “hog-butcherer of the world,” in the era of Henry Ford. (*Harper’s Weekly*, September 6, 1873. Eleutherian Mills Historical Library.)



FIGURE 6.19. “Disassembly” Line, Slaughterhouse, 1873. Note the ham traveling down the gravity slide. (*Harper’s Weekly*, September 6, 1873. Eleutherian Mills Historical Library.)

フォード方式は、現場の技術者の実験・試行錯誤によって生まれた

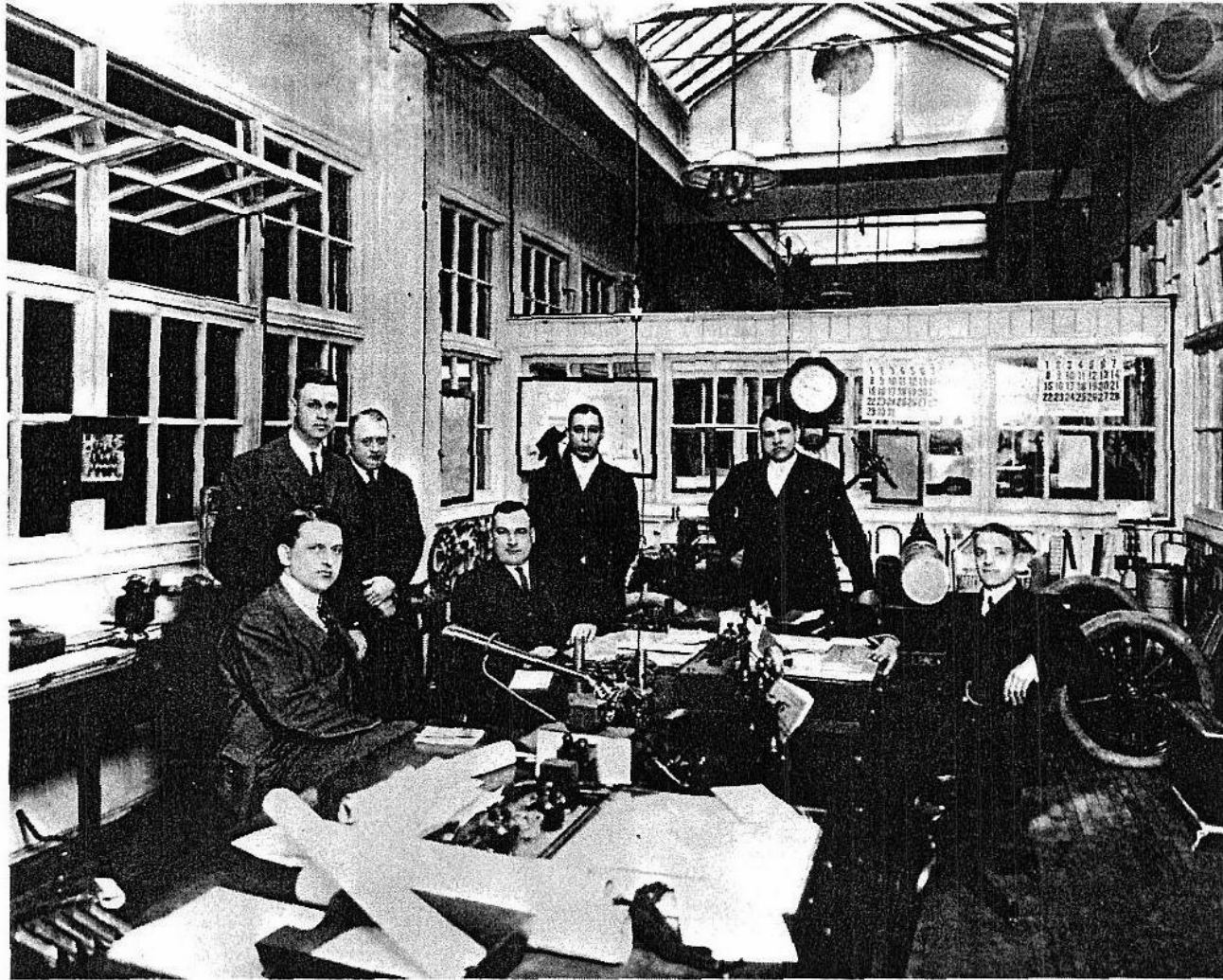


FIGURE 6.22. Some of the Principal Creators of Mass Production at Ford Motor Company, 1913. This is the superintendent's office at the Highland Park factory. Seated (left to right): Charles Sorensen, P. E. Martin, and C. Harold Wills. Standing directly behind Sorensen is Clarence W. Avery. Note the Model T chassis in the rear of the office. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-697.)

フォードの実験：ハイランドパーク工場への道

ピケットアベニュー工場(1904) =汎用機と熟練工による。互換性は不完全。
定置組立。組立工のチームが巡回

ベルビュー新エンジン工場で、互換性、専用機、製品別レイアウト、在庫削減、物流改良などの実験。

1908年、「モデルN」で組立ライン化実験。しかし不調。

1908年発売の「モデルT」も、当初は**定置組立**。しかし互換性により作業細分化

1910年～13年：**ハイランドパーク**新工場で実験が続く。

機械加工で先行：

治具・工具の標準化と段取りクイック化、製品別密集配置、
工作機械の専用化、内製化、高精度化・多軸化。

移動組立方式は仕上げ段階(1913～14年)：

マグネット発電機、トランスミッション、そして車両組立。
当初は手押し。後にチェーン駆動化、重力方式の部品供給。

初期のT型フォードは定置式で組み立てた(組立作業チームが巡回)

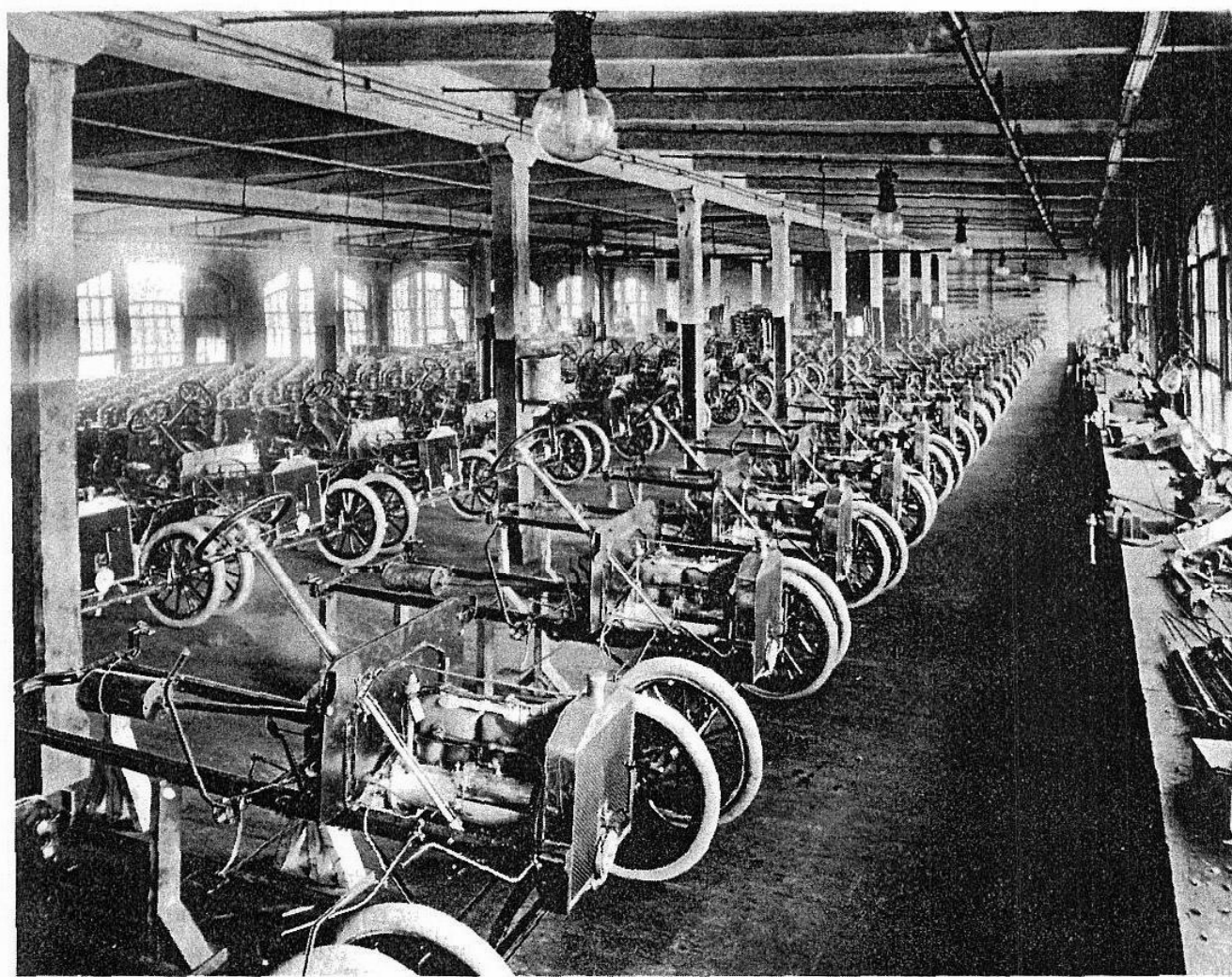


FIGURE 6.2. Static Assembly, Model N, Ford Motor Company Piquette Avenue Factory, 1906. The cramped condition of the Piquette Avenue factory would soon lead Henry Ford to expand the plant in 1907 and build the Highland Park plant, which opened in 1910. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-37306.)

初期のT型フォードは定置式で組み立てた(組立作業チームが巡回)

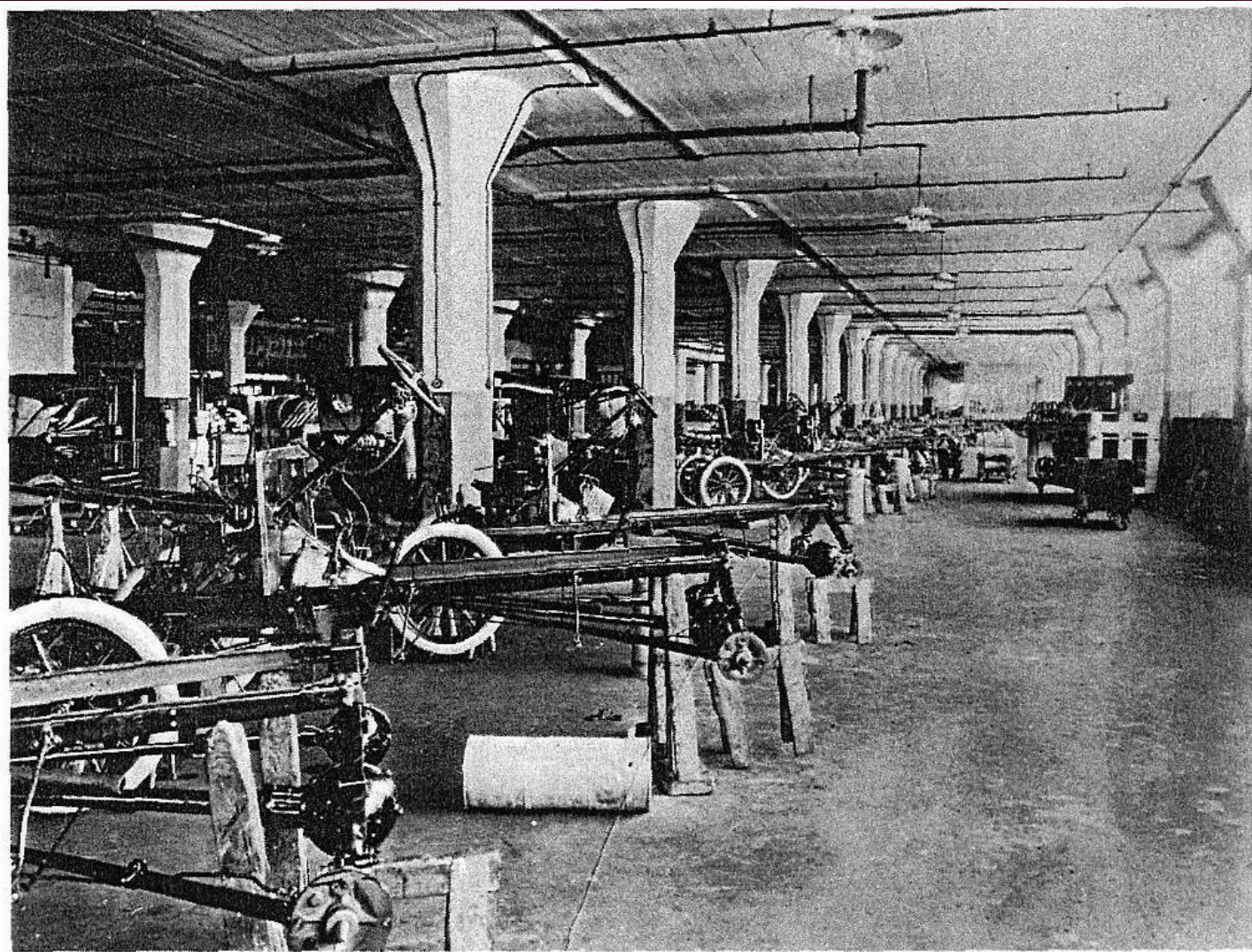


FIGURE 6.14. Static Assembly of Model T Chassis, 1913. Unfortunately, the moving assembly gangs were not included in the photograph. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 0-1267.)

フォード・ハイランドパーク工場：フォード方式のメッカ

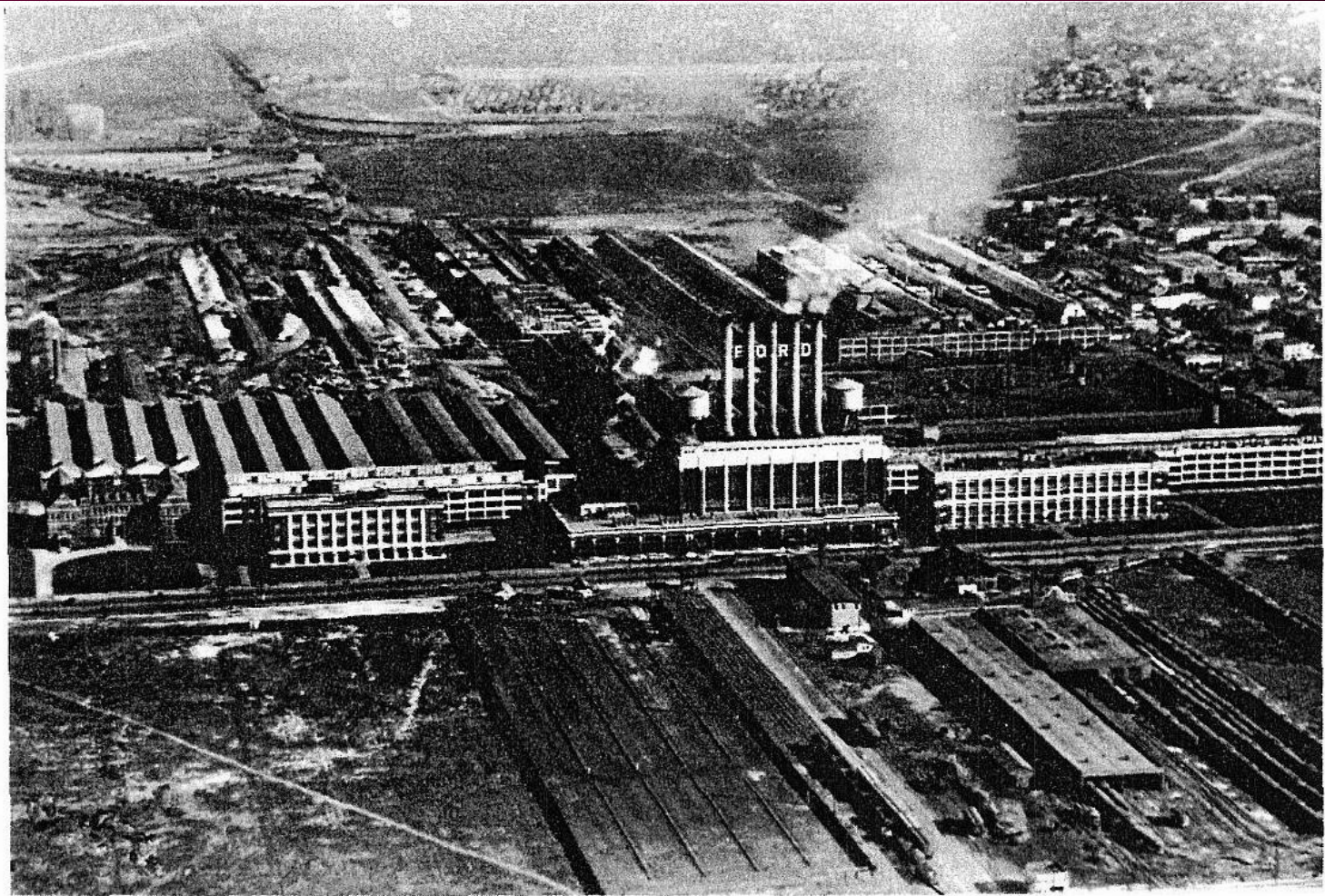


FIGURE 6.5. Highland Park Factory, 1923. This aerial photograph was taken at the peak of Highland Park's production. The 8,000-horsepower power plant is in the center of the photograph and the sawtoothed roof of the machining area is visible at the left. This area was connected by a glass-enclosed craneway to a four-story building 865 feet long and 75 feet wide. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-34974.)

ハイランドパークのエンジン組立職場(1913)・・・まだ定置で一人組立

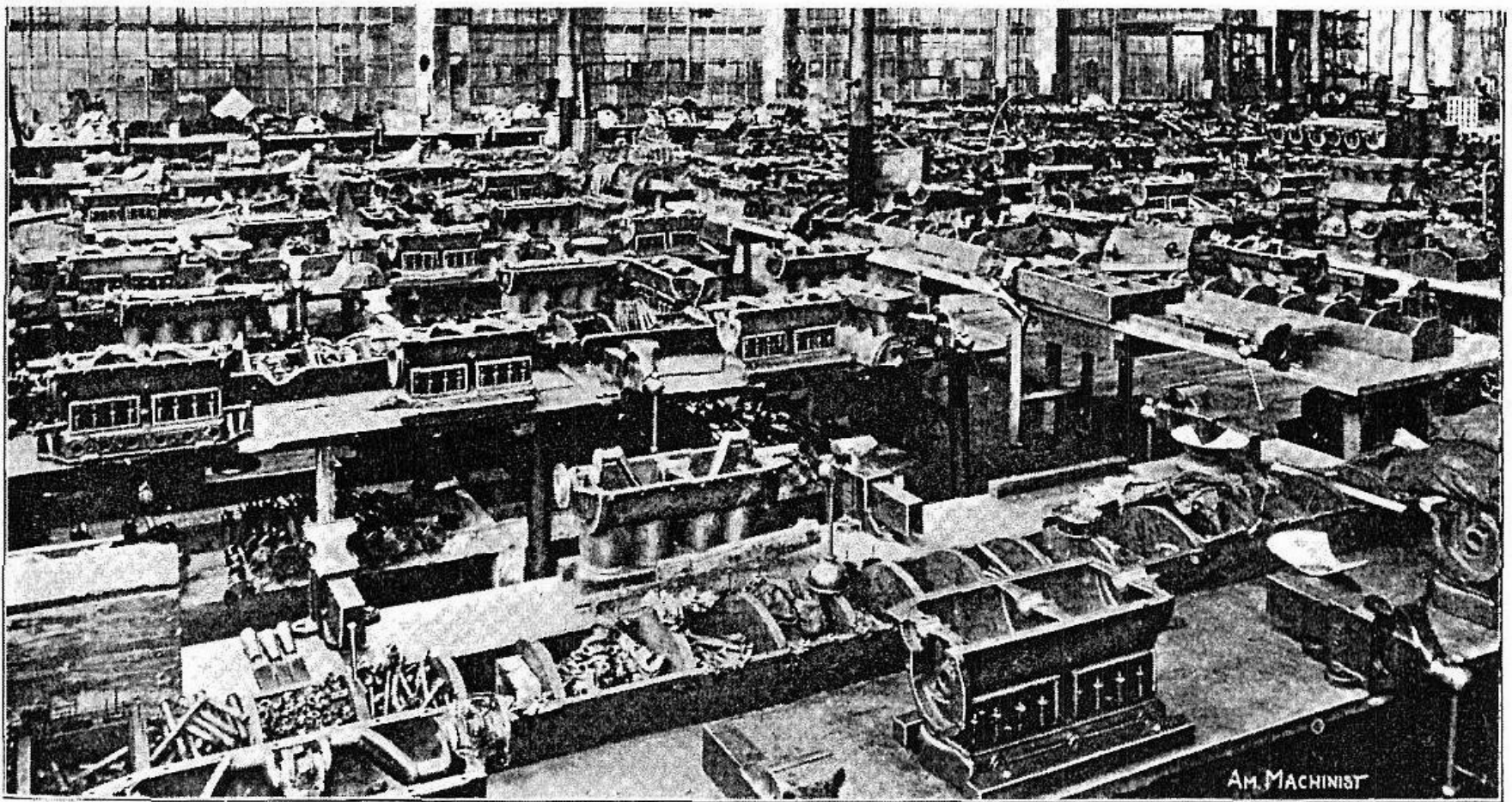


FIGURE 6.11. Engine Assembly, Highland Park, 1913. Individual workmen assembled entire engines by themselves. Unlike most of the photographs used by Fred Colvin in 1913, the original print of engine assembly no longer survives in the Ford Archives. (*American Machinist*, June 12, 1913. Eleutherian Mills Historical Library.)

ハイランドパークのマグネトー(発電機)組立ライン： 移動式組立ラインの発祥の地？



FIGURE 6.23. “The First Magneto Assembly Line,” 1913. This is a photograph of what Allan Nevins, among many other historians, called the first magneto assembly line. In his text, Nevins said that the magneto coil assembly was the first subassembly to be put on a line basis, but this illustration shows assembly of the flywheel magneto, the other half of the entire Model T magneto. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-167.)

ハイランドパーク工場のT型フォード組立ライン（1914）

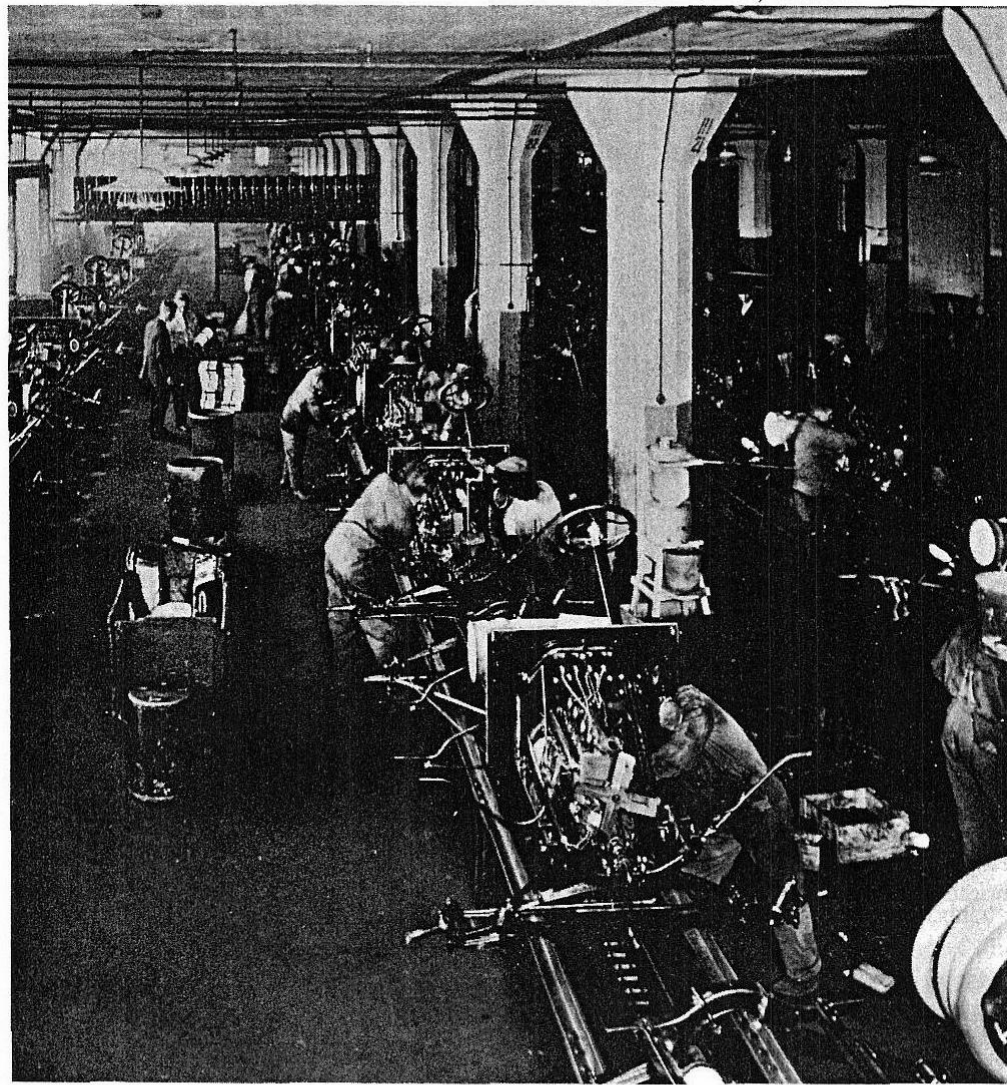


FIGURE 6.32. General View of "The Line," Highland Park, 1914. When Horace Arnold toured the Highland Park factory in 1914 and wrote of the assembly line that assembled a car in ninety-three man-minutes, this is the line of which he was speaking. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-987.)

ハイランドパーク工場のT型フォード組立ライン（1914）

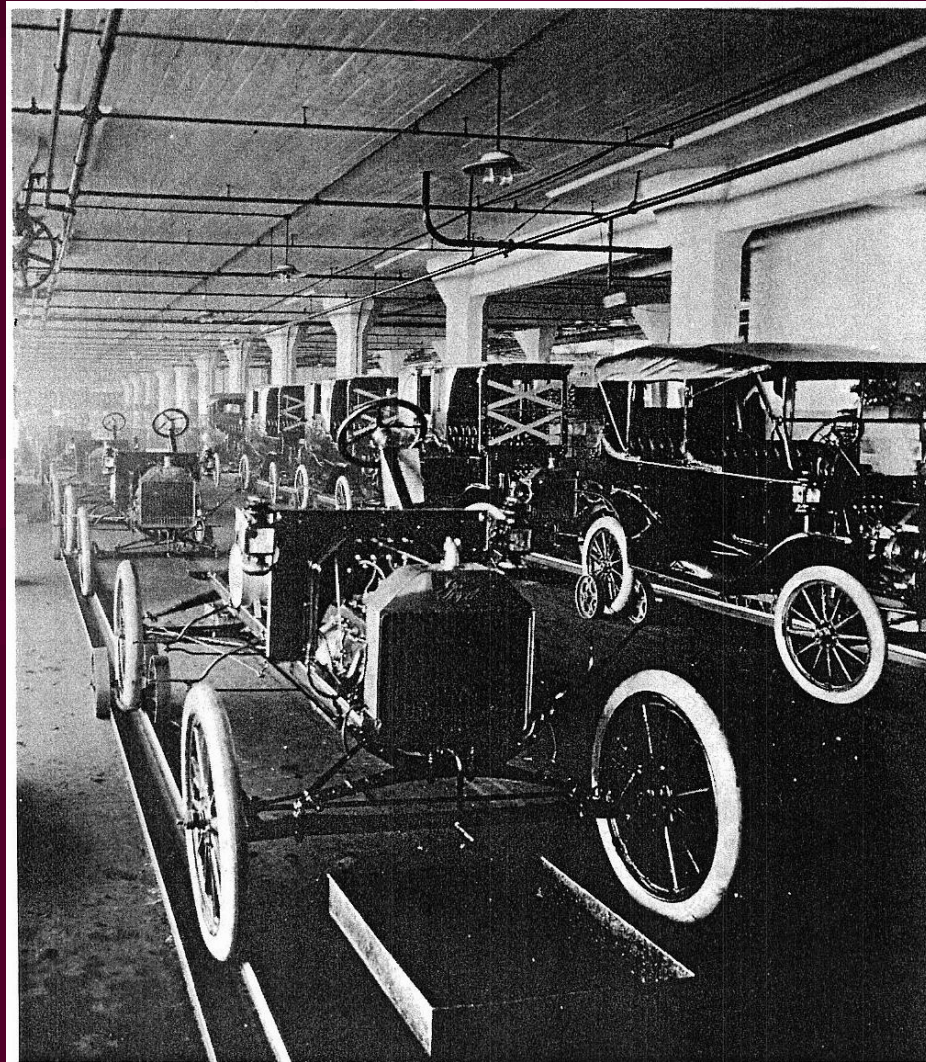


FIGURE 6.28. End of the Line, Highland Park, 1913. As in Figure 6.27, final assembly operations had not yet been put on the "chain system" when this photograph was taken. Note that Model T car bodies are being put on the chassis on one of the assembly lines. Those not receiving bodies were destined for rail shipment without bodies. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 0-3342.)

フォードのエンジン加工(1913)・・・専用工作機(多軸ドリル盤)で速く正確に

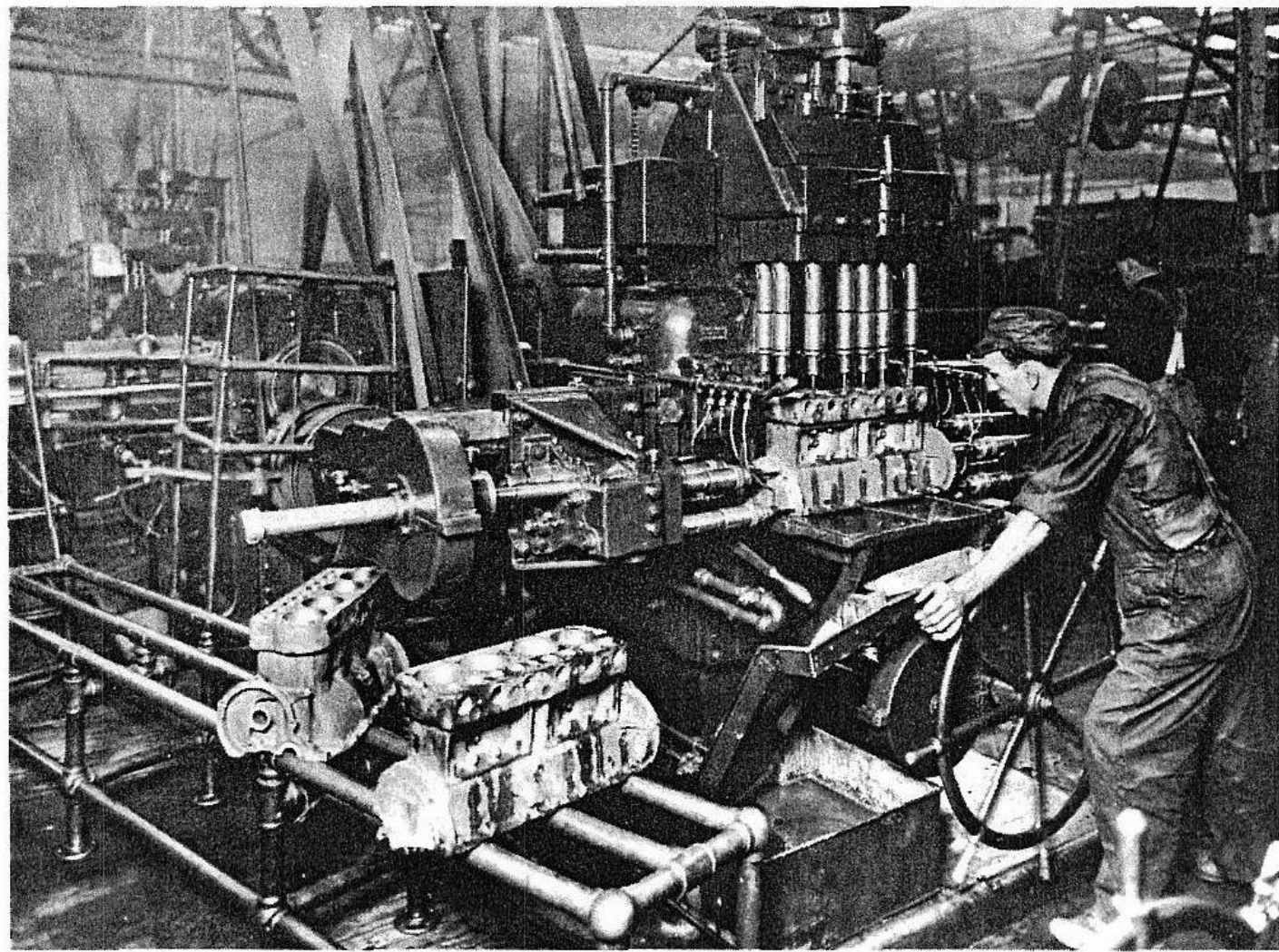


FIGURE 6.9. Drilling and Reaming Engine Block, 1913. This is one example of multiple spindle drilling and reaming machinery designed to machine the Model T engine block. (Henry Ford Museum, The Edison Institute, Neg. No. 833-219.)

ハイランドパーク工場のプレス工程内製化（1913）

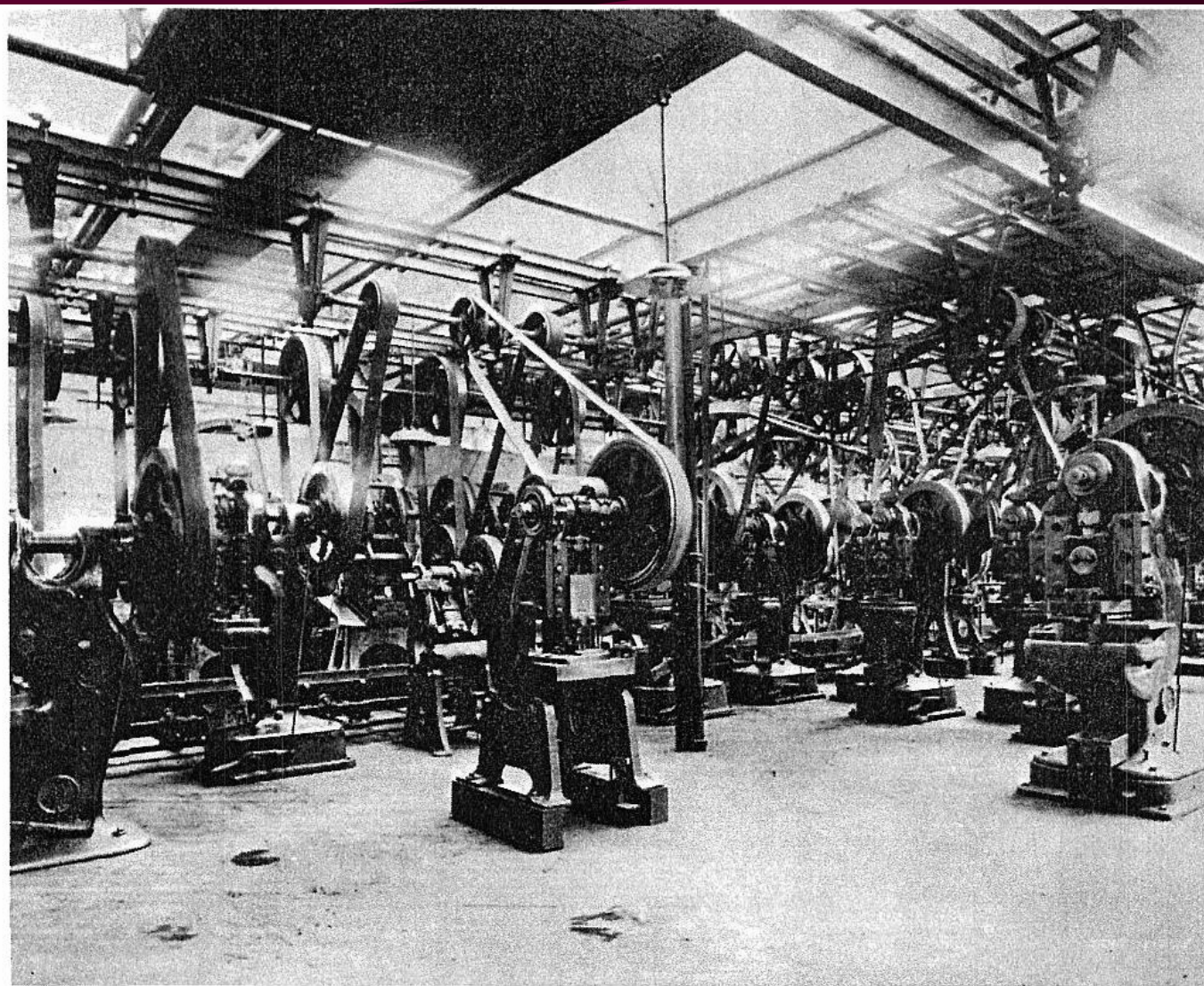


FIGURE 6.4. Punch Press Operations, Highland Park Factory, 1913. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-2295.)

フォード・リバー・ルージュ工場・・・極端な垂直統合（鉄から車まで2日！）

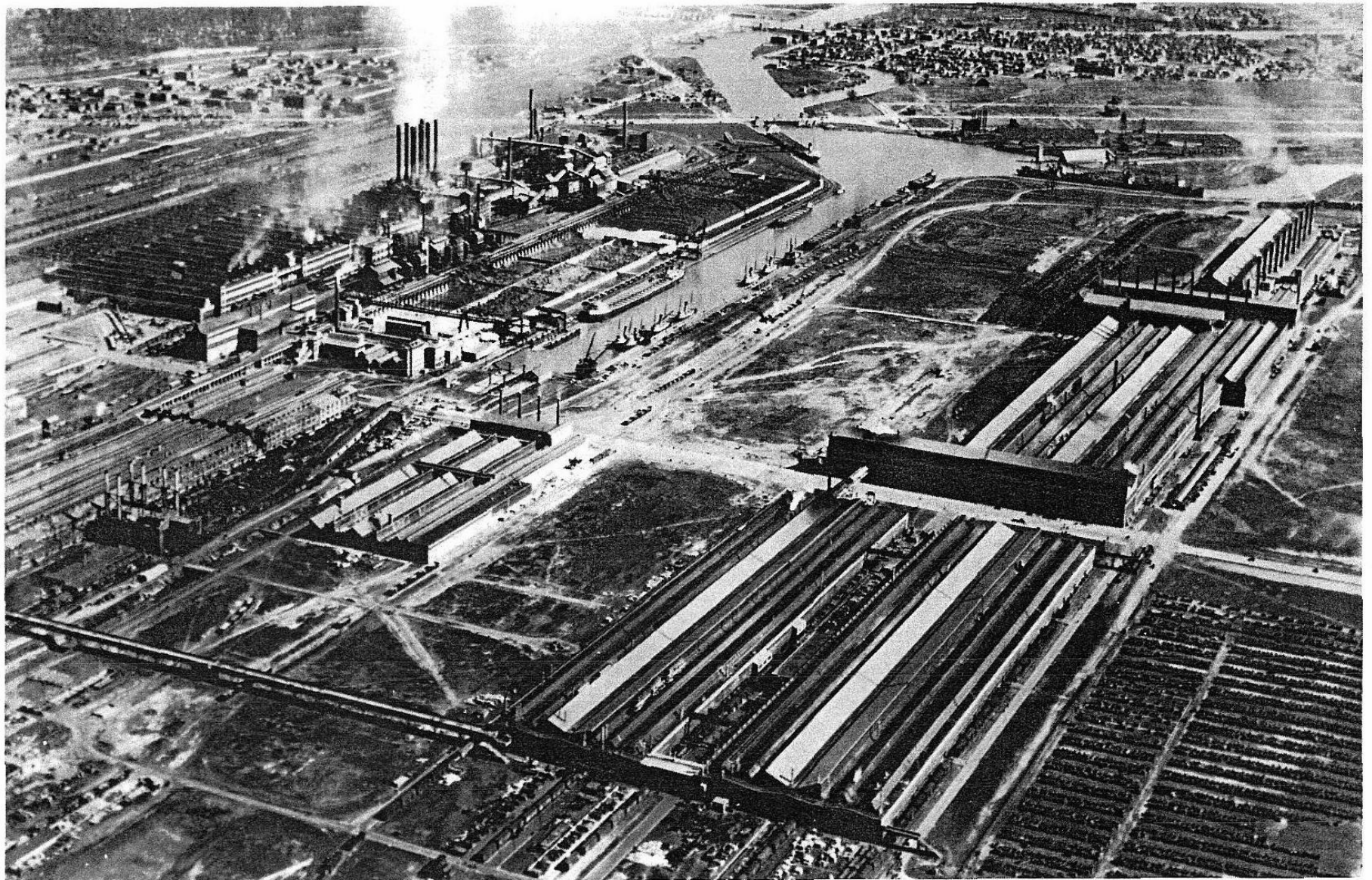


FIGURE 7.1. Ford Motor Company's River Rouge Factory, 1930. (Henry Ford Museum, The Edison Institute. Neg. No. 833-55282-A.)

リバーラージュ工場とフォードシステムの限界

巨大なリバーラージュ工場の建設(1919年)

極度の垂直統合(製鉄所もガラス工場も内製)と
生産同期化(鉄鉱石から車まで2日!)

しかし、製品の切替や多様化に対する柔軟性(flexibility)は低い。

「プロダクティビティ・ジレンマ」

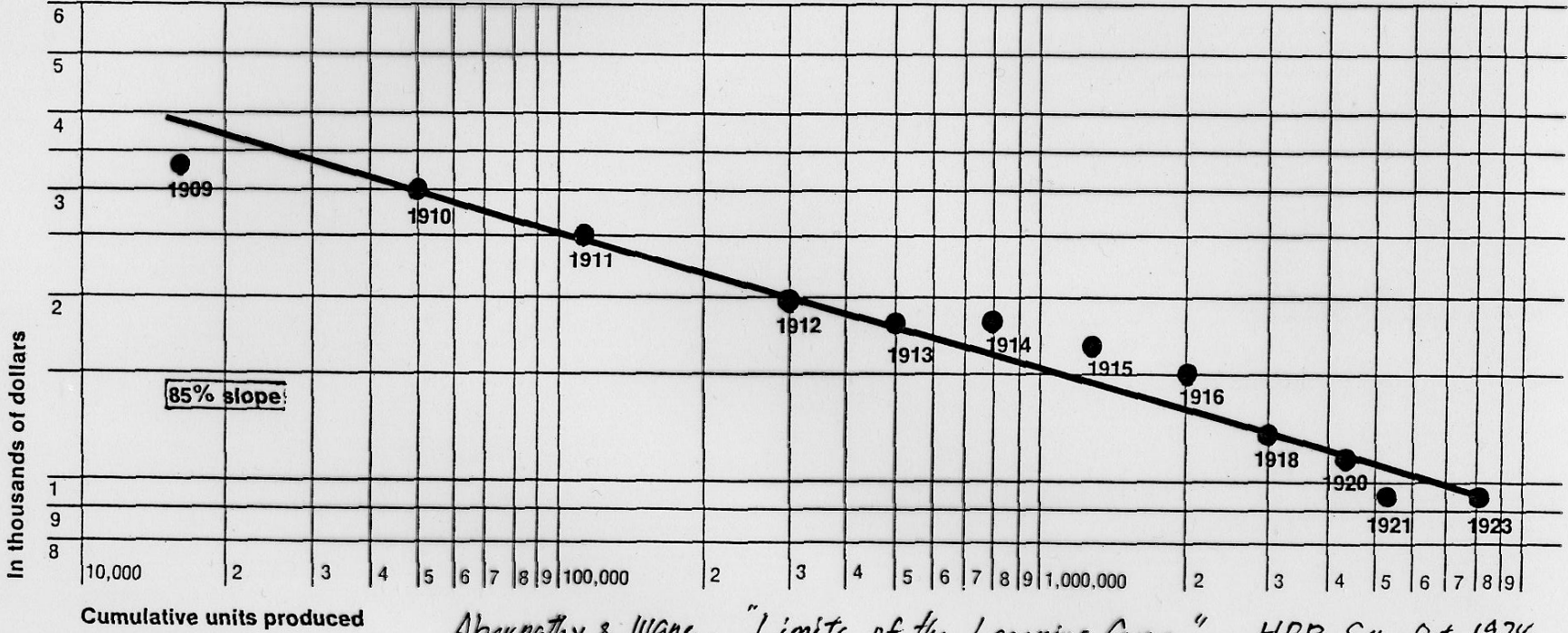
「守り」にはいったフォード ... システムの硬直化

極端な量産追求、垂直統合、設備専用化、労働者の単能化、労働問題
熟練工の大量流出、過度の分業化、管理層と作業者の垂直分断

T型フォード(1909-23)の学習曲線・・・プロダクティビティ・ジレンマの伏線

Exhibit I

Price of Model T, 1909-1923 (Average list price in 1958 dollars)



Abernathy & Wane, "Limits of the Learning Curve", HBR Sep.-Oct. 1974.

フレキシブル大量生産 (GMのスローン主義)

アルフレッド・スローン率いるジェネラルモーターズ (GM) が逆転

その特徴は:

フルライン政策: 複数モデルで、多様化するニーズに対応。

定期的なモデルチェンジ政策

複数モデル間、新旧モデル間で**部品共通化**

→ 部品生産は依然、大量生産方式

ややフレキシブルな生産ライン。しかし、基本的には大量生産を追求。

多モデル生産、モデルチェンジ、部品共通化、サプライヤー利用などの点では、むしろ19世紀のアメリカ的製造方式の延長上にある？

(フォード方式は、専用機による部品互換性を完成させたが、その他の点では、むしろフォードが特殊だった?)

初期のフォードシステムとGMシステム(フレキシブル大量生産)の比較 (再)

	初期のフォードシステム (T型フォード時代)	GMのスローン方式 (フレキシブル大量生産システム)
マイナー・チェンジ 対応力	あり(T型の車台を変えずに 車体や部品技術を更新)	あり(車台を変えずに 毎年のモデルチェンジ)
メジャー・チェンジ 対応力	低い(T型からA型への切替に 1年近くかかった)	やや高い(4気筒エンジンから 6気筒への切替を2週間で)
工作機械	専用機(T型車専用)	汎用性あり
工程のレイアウト	製品別(機械を極端に密集配置)	製品別(フォードと基本的に同じ)
垂直統合度	極端な垂直統合(ルージュ工場)	部品外注比率は相対的には高い
製品開発能力	やや弱い。過去のデータに依存し すぎ。パイロット生産を省略して 初期生産で混乱、	比較的強い。デザイン部門を強化。 計画的モデルチェンジによる製品改 良に対する体制が整っている。

Abernathyのアメリカ技術史観・・・進化史観(progress)

年代	第0期	第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	
	1700年代末	1800		1850	1890	1910	
特徴	イギリス式工場システム	アメリカン・システム (部品互換性)	部品フレキシビリティ (多品種対応)	部品フレキシビリティ (モデルチェンジ対応)	サプライヤー管理 (企業間パーツ共通化)	大量生産 組立ライン	
代表的企業	Cottage Company	Whitney	Singer	Colt	自転車・馬車・自動車	Ford	
プロダクト		標準化(互換性)				フォードで徹底	
部品互換性	なし	●				→	
多品種部品 フレキシビリティ			●	共用部品(モジュラー化)		→ GM	
モデルチェンジ フレキシビリティ				●	モデルチェンジ	→ 中断 GM	
パーツの企業間 共通化					●	→ サプライヤーネットワーク	
プロセス						→ フォードで徹底	
工程間分業	●	自己完結工程				→	
機種別レイアウト			●			→	
製品別レイアウト						●	→ 流れ作業

3. テーラー・システム

フレデリック・テーラーとは・・・

「**科学的管理**」(?)の創始者

インダストリアル・エンジニアリング (IE)の元祖

高速工具鋼の発明者

テーラー・システムの背景...

19世紀後半、アメリカ機械産業における労働問題

作業者の労働の内容とペースをどうコントロールする？

内部請負制の限界：**レーバースプロブレム**(サボリ問題)

2つのアプローチ

(1) 機械技術者: 「経営も機械のように正確にコントロールせよ」(賃金制度)

(2) 労使関係改善派: 「労働者を人間として扱え」(福利厚生、組合、環境改善)

F.テイラーとテイラー・システムの形成

年		1874	～	1889	～	1896	～	1901	～	1915	～	現在
時代区分		新人メカニック時代		コンサルタント時代		ベツレヘム鉄鋼時代		布教家時代		(現在に残るもの)		
テイラー・システムの要素	工具の改良、レイアウト改善	→ 発明に熱中		→ 常に行う		→ 高速工具鋼発明				→ 高速工具鋼		
	タイム・スタディ	→		→ やらないことも		→ シャベル改善		→ 動作研究		→ 「IE」として		
	機能別フォアマン制	→ ミッドベール社		→		→		→		→ 廃れた		
	生産計画部 (planning dept.) の設置	→ で試行		→		→		→		→ 生産管理部 廃れた		
	差別的出来高制	→		→ やらないことも		→ 現場の抵抗		→		→		
	「科学的管理」の原則	→		→		→		→ やや「ひとり歩き」		→ 定着せず		

注:ネルソン(1980)などより筆者作成。

テーラー・システムの構成要素は、徐々に生み出された

・現場監督・エンジニアとしてのテーラー（ミッドヴェール社時代）

タイム・スタディ

差別的出来高制給

機能別フォアマン

・コンサルタントとしてのテーラー（ベツレヘムスチールが集大成）

(1) まず機械・工具・レイアウトなどの改善（成果が目に見える→信頼獲得）

(2) 次に、生産管理・原価管理システムの変革（生産管理部、機能別フォアマン）

(3) 可能なら、タイムスタディや差別的出来高給も（抵抗があれば無理はしない）

コンサルティングの手順としては現実的だが、これは科学的か？ 体系的か？

・布教者としてのテーラー

著作、取り巻き、労働組合との論争・・・テーラー主義の「一人歩き」

4. 現代の米国製造業の評価

1980年代:米国製造業の自己評価

MITの「**Made in America**」における自己反省

Abernathyの累積進化 (evolution) 仮説:

「初期フォードまでOK」「土台は健在」「その後油断」
「弟子が師匠を追い越す」「基本に帰れ」

Skinner のパラダイムチェンジ(革命的変化)仮説:

「20世紀大量生産パラダイムが土台から陳腐化」
「一から出直せ」「19世紀の技術屋経営者の時代への回帰」

Piore/Sabel の第二の産業分水嶺仮説:

「大量生産方式は70年代以後行き詰まり」
生産方式を再選択する分岐点
「フレキシブルな専門化」方式へ

レギュラシオン派の**ポスト・フォーディズム論**:ボルボ(ウッデバラ)方式を評価

米国大量生産システムに対する診断と処方箋・・・革命か進化か

	累積進化 (evolution) 説	革命 (revolution) 説
主な論者	アバナシー (Abernathy) ら	スキナー (Skinner) ら
生産システム発展に対する基本的な見方	<p>累積進化 (evolution) とみる</p> <p>学習 (learning) を重視する</p> <p>直面する問題に対して小刻みに「問題解決」が行われる</p>	<p>パラダイムの不連続的変化 (revolution) とみる</p> <p>学習棄却 (unlearning) を重視する</p> <p>古いパラダイムがしぶとく残り、これが問題を覆い隠す</p>
1980年代の米国製造業に対する診断と処方箋	<p>米国の生産システムの土台は健在；途中から方向性を誤っただけだ</p> <p>「もの造り」の基本に帰れ</p> <p>基本をしっかりやっている日本企業があればそこから学べ</p>	<p>米国の生産システムは土台からおかしくなっている</p> <p>古い「大量生産パラダイム」を根本から棄却せよ</p>

注：アバナシー他(前掲書)、スキナー(前掲書)などより筆者作成。

5. リーン生産システム

米国MITの**国際自動車プログラム** (International Motor Vehicle Program) の報告書 (Womack他、1990) が提唱。90年代、世界の自動車産業がその部分的導入に乗り出した。

基本は「**トヨタ的生産方式**」。

自動車の「ものづくり」では、日本企業が世界標準を取った。

高い生産性、品質、フレキシビリティの同時達成。その背後にある**組織能力**

国際競争力は、**トータルシステムの問題**であることを明示。

クラフト → **アメリカ式大量生産** → **リーン生産** という段階論

やや単純すぎ、トヨタ礼賛だが、世界の自動車企業経営者に説得力を持った。

リーン生産方式 v.s. アメリカ流大量生産方式

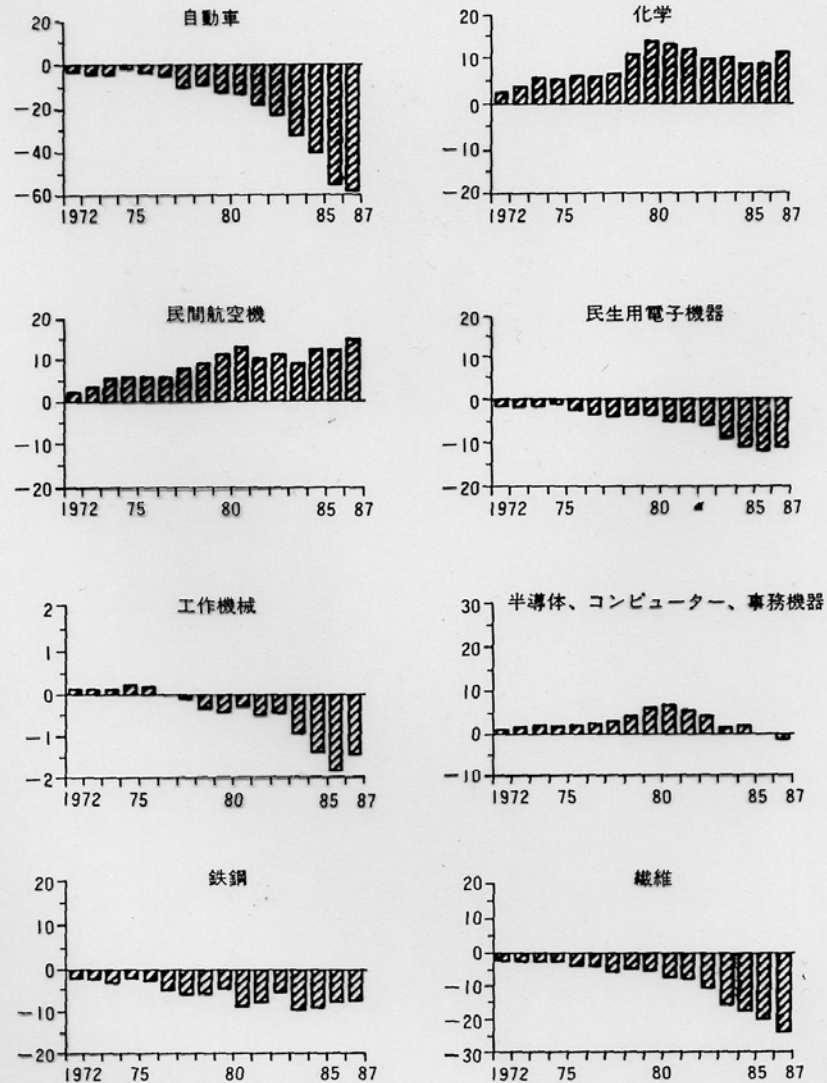
Table	Production System Characteristics			
	Craftsmen	Pure Fordism (フォード)	Recent Fordism (GM)	TPS (リーン)
Work Standardization	Low	High, by managers	High, by managers	High, by teams
Span of Control	Wide	Narrow	Narrow	Moderate
Inventories	Large	Moderate	Large	Small
Buffers	Large	Small	Large	Small
Repair Areas	Integral	Small	Large	Very small
Teamwork	Moderate	Low	Low	High

John Krafcik “Triumph of the Lean Production System”, Sloan Management Review,
Fall 1988

80年代米国製造業の

競争力低下

図1・4 調査対象産業別貿易収支
(10億ドル)

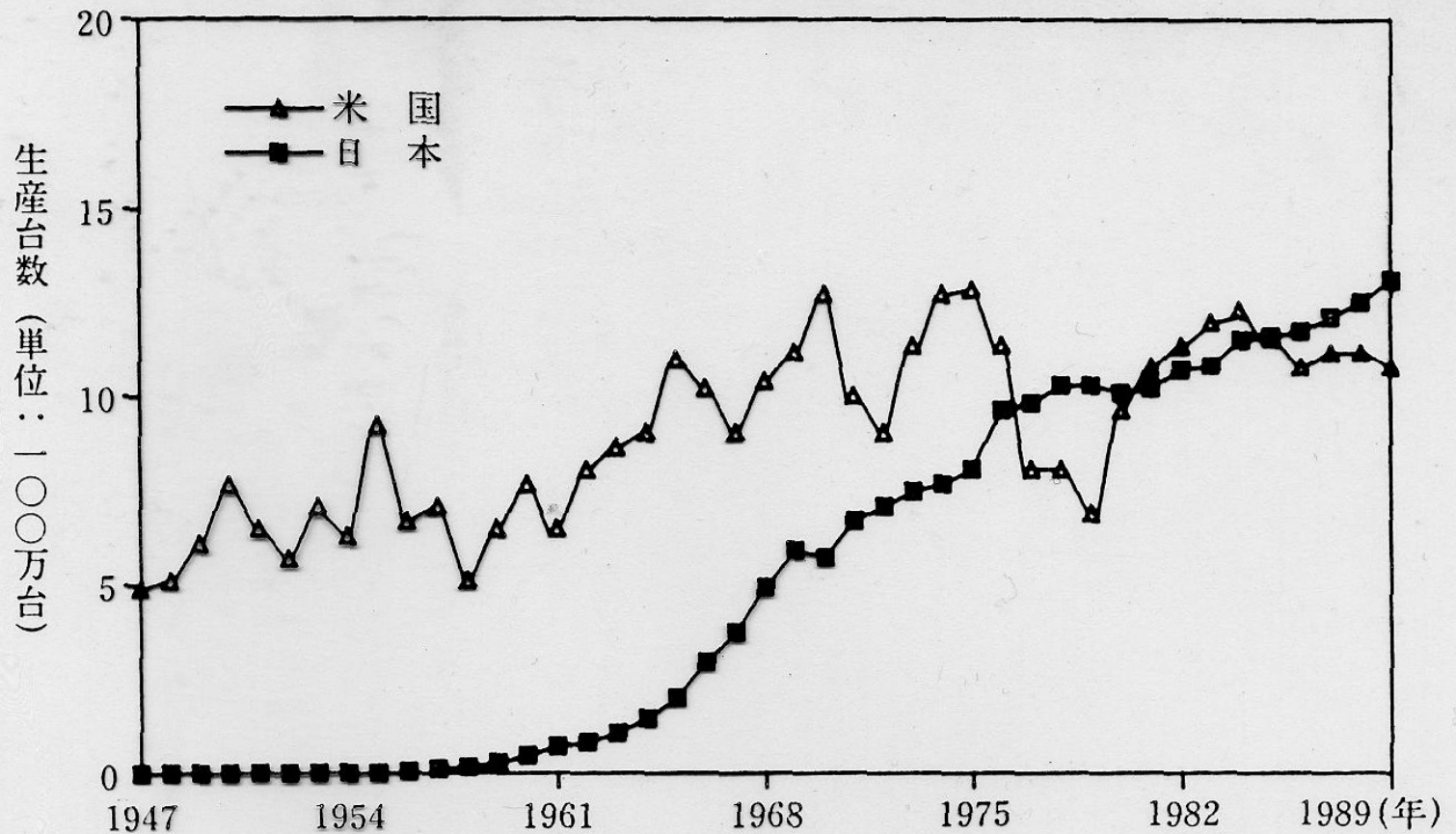


出所：アメリカ商務省、国際貿易局、貿易情報分析部から入手したデータより作成。

「Made in America」 データバンク 章鬼石 P21

80年代、日本は世界一の自動車生産国に

日米両国における自動車生産台数の浮き沈み(1946年～1989年)



出典: Automotive News Market Data Book

出所: MIT (MVP)

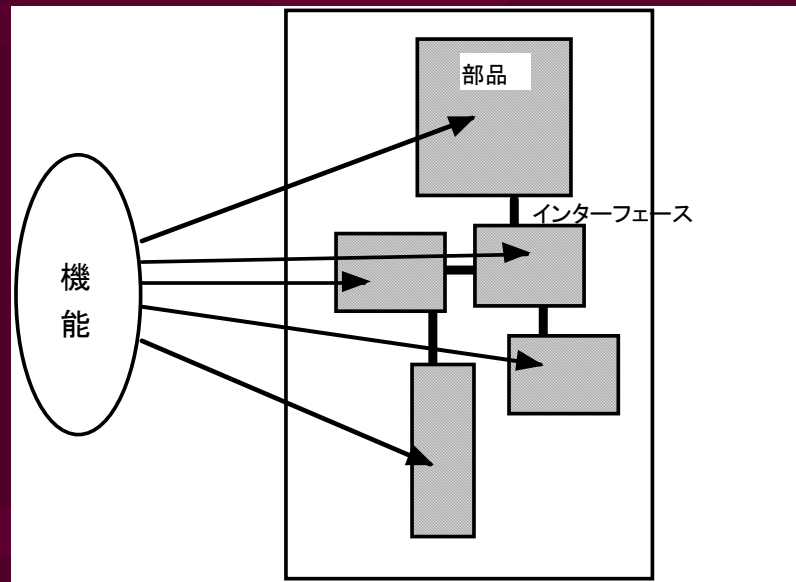
日本の「強い製造業」とは・・・ アーキテクチャと競争の軸

しかし、処方箋は産業や製品により異なる。

・・・「アーキテクチャ」と「競争」の軸

製品アーキテクチャ

製品に要求される機能^{機能}を、製品の各構造部分(部品)にどのように配分し、部品間のインターフェース^{インターフェース}をどのようにデザインするか、に関する基本的な設計思想^{設計思想}



製品アーキテクチャのタイプ

(1) モジュラー・アーキテクチャ:

「組み合わせ」型。寄せ集め設計でも機能発揮

(2) インテグラル(統合的)アーキテクチャ:

「擦り合わせ」型。部品の最適設計が必要

(a) オープン・アーキテクチャ:

インターフェースの業界標準化により、
企業を超えた寄せ集め設計が可能

(b) クローズド・アーキテクチャ:

1社内で基本設計が完結

米国企業の学び方に学ぶ

1990年の「自信過剰」 → 1999年の「自信喪失」

過剰反応は建設的でない。データに基づく冷静な産業論を。

海外の先端事例に学ぶ

国内の「達人企業」から改めて学ぶ

自らの歴史から学ぶ