早大_モビリティ研究会

cordia

ハイブリッド・プリウスの進化

「信頼性品質と実走行燃費向上の取り組み」

2016年9月7 日（水）

株式会社　コーディア　代表取締役社長
八重樫 武久
（元トヨタ自動車〔株〕理事　ハイブリッド開発担当）

HYBRID SYNERGY DRIVE

cordia

ハイブリッド・プリウスの進化

1995.10 東京MS　展示プロト

1997.10 初代　新車発表会

2000.5　欧米販売開始

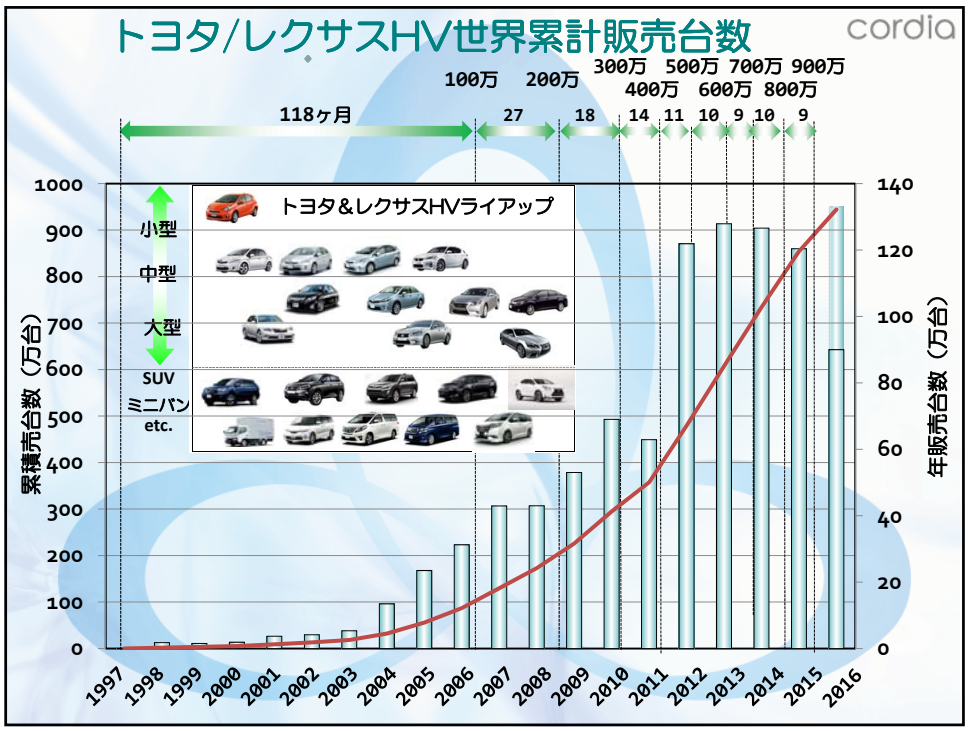
2003.11 2代目ローンチ　試乗会

2005.1　欧州カーオブ・ザ・イヤー
ストックホルム, SE

2009.5 3代目ローンチ

2010.4　3代目PHV Strasburg, Fr.

2015..9　4代目　グローバルローンチ



内容

cordia

ハイブリッド・プリウスの進化
「信頼性品質と実走行燃費向上の取り組み」

1 ハイブリッド・プリウス開発の背景

・トヨタ ウェーとハイブリッド・プリウスの開発

2 初代ハイブリッド・プリウス開発から19年

・燃費2倍を実現するハイブリッドシステムの探索

・安全・信頼性品質確保とコンプライアンスマネージ

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

・THSの技術進化

・弛まぬ安全・信頼性品質への取り組み

・実走行燃費向上への取り組み

4 地球環境の安全・安心と次世代自動車

1 ハイブリッド・プリウス開発の背景

cordia

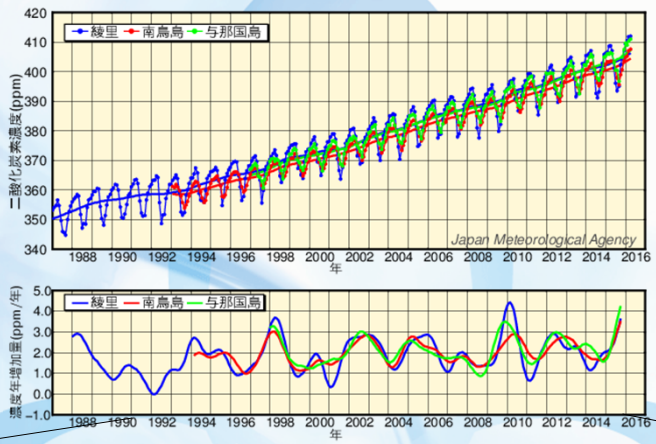
20世紀は自動車の世紀

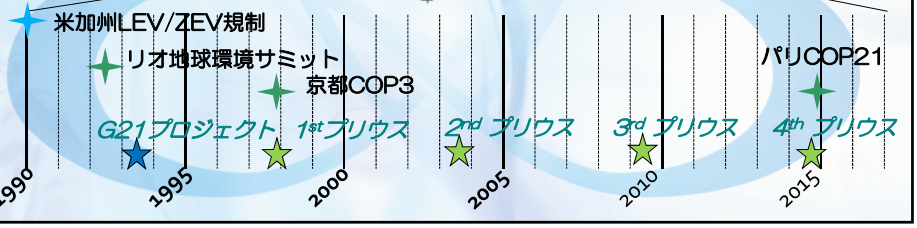
しかし・・・自動車のネガティブ面が深刻化

事故・渋滞・環境・エネルギー問題

1 ハイブリッド・プリウス開発の背景

cordia





1 ハイブリッド・プリウス開発の背景

cordia

21世紀は自動車の大変革期、そのトップをトヨタが努めたい

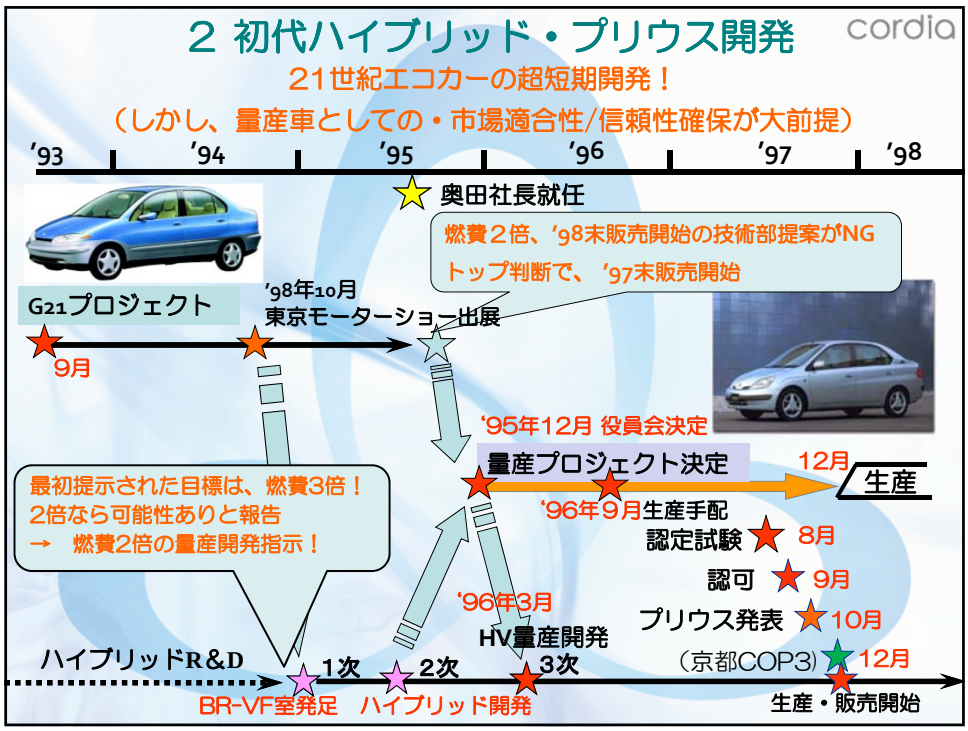
1 ハイブリッド・プリウス開発の背景

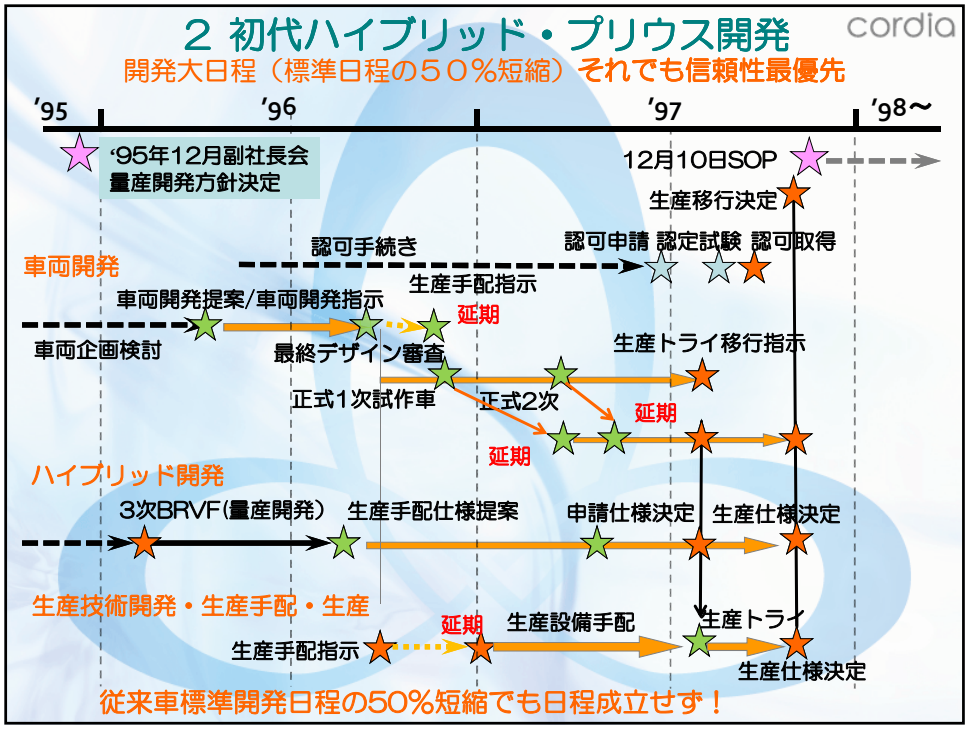
cordia

トヨタの歴史とトヨタウェイ

トヨタ自動車の歴史
創業　1937年（昭和12年）
創業者　豊田喜一郎
（豊田佐吉の長男）
昭和11年自動車製造事業法発足を
契機に豊田自動織機から分離創業

豊田佐吉翁の遺訓
「研究ト創造ニ心ヲ致シ、常ニ時流
　ニ先ンズヘシ」
トヨタウェイ　現地・現物・実践
「手をよごさんで仕事ができるか」
「論より実践」
「紙陣を離れよ」


2 初代ハイブリッド・プリウス開発
cordia
21世紀エコカーの超短期開発！
（しかし、量産車としての・市場適合性/信頼性確保が大前提）
'93
'94
'95
'96
'97
'98
奥田社長就任
燃費２倍、'98末販売開始の技術部提案がNG
トップ判断で、 '97末販売開始
G21プロジェクト
'98年10月
東京モーターショー出展
9月
'95年12月 役員会決定
量産プロジェクト決定
12月
生産
最初提示された目標は、燃費3倍！
2倍なら可能性ありと報告
→ 燃費2倍の量産開発指示！
'96年9月生産手配
認定試験
8月
認可
9月
'96年3月
HV量産開発
プリウス発表
10月
ハイブリッドR&D
1次
2次
3次
（京都COP3）
12月
BR-VF室発足
ハイブリッド開発
生産・販売開始


2 初代ハイブリッド・プリウス開発
cordia
開発大日程（標準日程の５０％短縮）それでも信頼性最優先
'95
'96
'97
'98～
'95年12月副社長会
量産開発方針決定
12月10日SOP
生産移行決定
認可手続き
認可申請
認定試験
認可取得
車両開発
生産手配指示
車両開発提案/車両開発指示
延期
車両企画検討
最終デザイン審査
生産トライ移行指示
正式1次試作車
正式2次
延期
延期
ハイブリッド開発
3次BRVF(量産開発)
生産手配仕様提案
申請仕様決定
生産仕様決定
生産技術開発・生産手配・生産
延期
生産設備手配
生産トライ
生産手配指示
生産仕様決定
従来車標準開発日程の50％短縮でも日程成立せず！

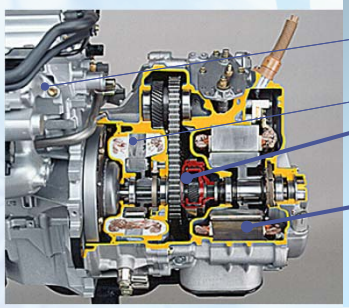
2 初代ハイブリッド・プリウス開発

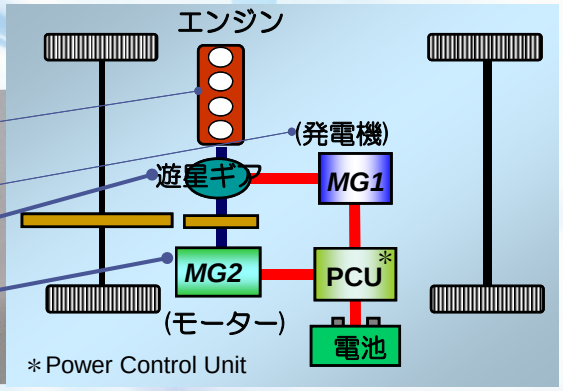
cordia

トヨタ・ハイブリッド・システム（THS）

エンジン停止EV走行機能を持つストロング（フル）ハイブリッド

遊星ギア、2MGコンセプトは
今も変わらず



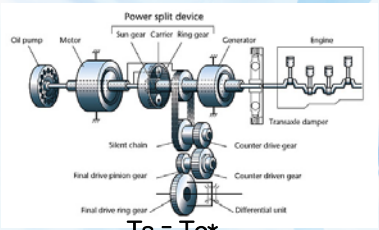


2 初代ハイブリッド・プリウス開発

cordia

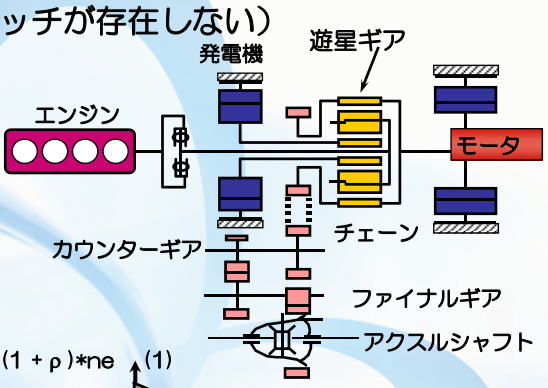
THS（トヨタ・ハイブリッド・システム）の特長

■ エンジン、モータからタイアまでギア、チェーンで直接的に連結。（クラッチが存在しない）



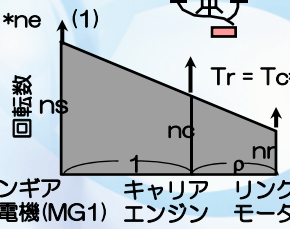
$$Ts = Tc * \frac{}{1+\rho}$$

動力分割機構（遊星ギア）と共線図



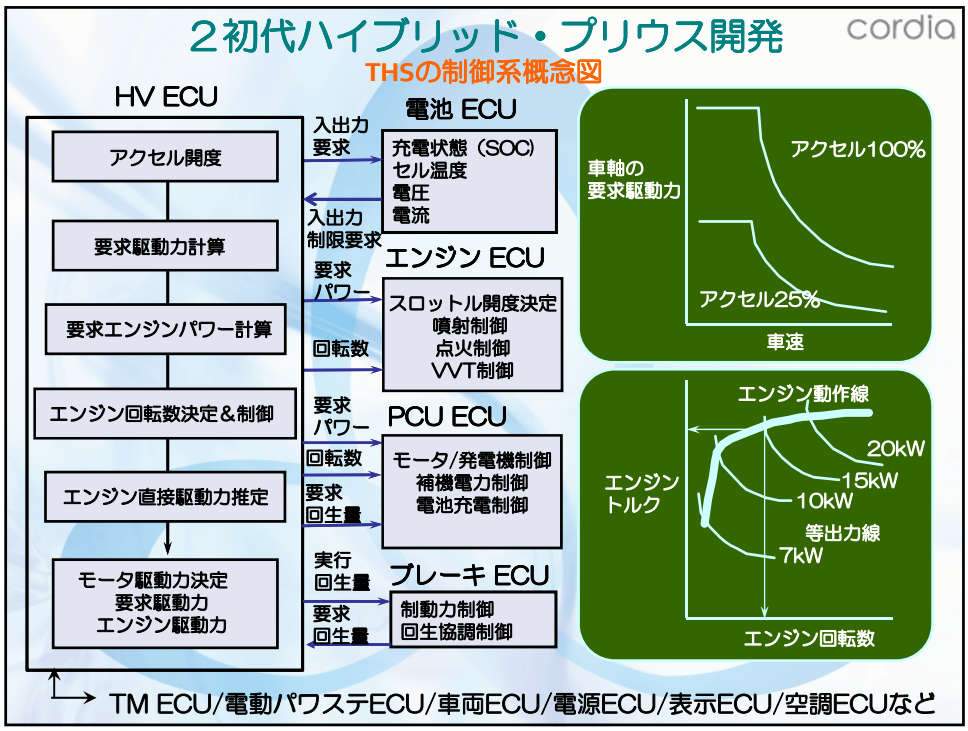
$$\rho * ng + nr = (1+\rho) * ne \quad (1)$$

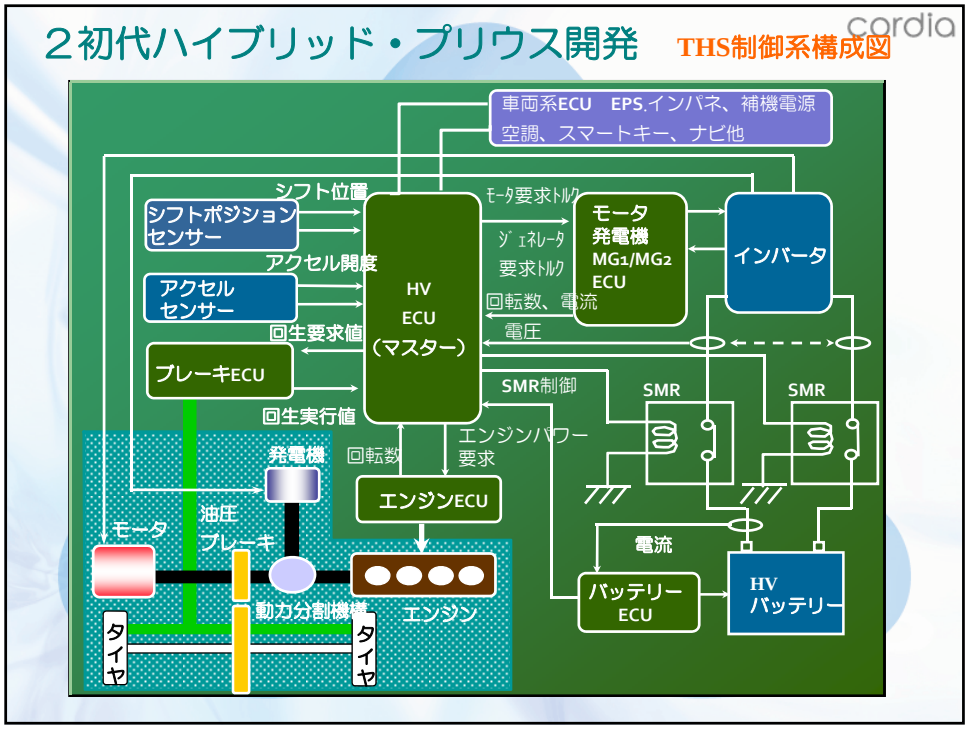
$$Ts = Tc * \frac{\rho}{1+\rho}$$



$$Tr = Tc * \frac{1}{1+\rho}$$

$\rho = 30/78$
$= 0.3836$


２初代ハイブリッド・プリウス開発
cordia
THSの制御系概念図
HV ECU
アクセル開度
要求駆動力計算
要求エンジンパワー計算
エンジン回転数決定＆制御
エンジン直接駆動力推定
モータ駆動力決定
要求駆動力
エンジン駆動力
入出力
要求
入出力
制限要求
電池 ECU
充電状態（SOC）
セル温度
電圧
電流
要求
パワー
回転数
エンジン ECU
スロットル開度決定
噴射制御
点火制御
VVT制御
要求
パワー
回転数
要求
回生量
PCU ECU
モータ/発電機制御
補機電力制御
電池充電制御
実行
回生量
要求
回生量
ブレーキ ECU
制動力制御
回生協調制御
車軸の
要求駆動力
アクセル100%
アクセル25%
車速
エンジン動作線
20kW
15kW
10kW
7kW
等出力線
エンジン
トルク
エンジン回転数
TM ECU/電動パワステECU/車両ECU/電源ECU/表示ECU/空調ECUなど

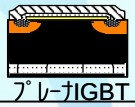

２初代ハイブリッド・プリウス開発
cordia
THS制御系構成図
車両系ECU　EPS.インバネ、補機電源
空調、スマートキー、ナビ他
シフト位置
シフトポジション
センサー
アクセル開度
アクセル
センサー
回生要求値
ブレーキECU
回生実行値
HV
ECU
（マスター）
モータ要求トルク
ジェネレータ
要求トルク
回転数、電流
電圧
モータ
発電機
MG1/MG2
ECU
インバータ
SMR制御
SMR
SMR
エンジンパワー
要求
回転数
発電機
エンジンECU
油圧
ブレーキ
モータ
動力分割機構
エンジン
タイヤ
タイヤ
電流
バッテリー
ECU
HV
バッテリー

２初代ハイブリッド・プリウス開発　日本の電動化技術

cordia

ハイブリッドトランスミッション with モータ/発電機（ﾄﾖﾀ製造）
電磁鋼板（新日鉄)/永久磁石（NEOMAX/TDK）/回転センサー（多摩川精機）

パワーコントロールユニット (ﾄﾖﾀ製造）
ﾊﾟﾜｰ半導体（ﾄﾖﾀ内/三菱電機）
DC-DCｺﾝﾊﾞｰﾀ（ﾃﾞﾝｿｰ/TDK）


ﾌﾟﾚｰﾅIGBT

ﾄﾚﾝﾁIGBT

電池 (PEVE製造）　初代 円筒形
電池ｾﾙ（松下電池/PEVE)
Ni発泡ﾒﾀﾙ（住友電工/海外製）/電池制御（PEVE/ﾃﾞﾝｿｰ）

初代後期
角形

高電圧リレー/配索
高電圧ﾘﾚｰ（松下電工）/高圧配索/ｺﾈｸﾀｰ（矢崎）

ハイブリッド制御（ﾄﾖﾀ製造　ﾊｰﾄﾞ/ｿﾌﾄ）
CPU/IC　（ﾃﾞﾝｿｰ、三菱電機、東芝、NEC、富士電　他）

ブレーキ・PS・冷却系・エアコン他
ｱｲｼﾝ精機/ﾃﾞﾝｿｰ/愛三/豊田自動織機　他

自分の城は自分で守れ(自前主義) と 餅は餅屋(専門メーカーの活用)を融合
「摺り合わせ型」開発からの脱却　→　システム最適、車両最適

２初代ハイブリッド・プリウス開発　THSの安全・安心品質

cordia

1. システム全体としての信頼性設計と確認
「走る・曲がる・止まる」関連故障とFH、感電防止
のシステム設計とDR＆未然防止活動

2. ユニット/部品の信頼性
企画・設計（設計・評価）・製造過程での未然防止

3. マン-マシンインタフェースの安心・安全信頼設計
始動ボタン・アクセルペダル・ブレーキペダル
シフト系・表示系　他

その上で

5. 電子制御系ロバスト設計 & 徹底したフェール
セーフ設計とその評価
FMEA/FTA/DR/現地・現物・現認と意地悪評価

6. クルマの挙動レベル・部品レベルでの
故障診断システム構築とフェールトレラント制御

7. クルマと人による現地、現物、現認評価
摘出不具合の現車、現物での再現と対策効果確認の徹底

初代プリウスのインパネ

二代目プリウスのハンドル周り

二代目プリウスのシフトボタン

２ G21～初代プリウス開発へ　未然防止とコンプライアンス

cordia

トヨタ式未然防止手法 GD3の実践

Good Design （高い目標、シンプルシステム、DR活動）
Good Discussion（マネージ会議、WG、Task Force活動、DR活動）
Good Dissection（良い観察：現地、現物、現認ー集中検討会）

徹底的なDRBFM（Design Review based on Failure Mode）
“想定外を想定するDRBFMと現地、現物、現認の徹底”
車両最適・システム最適、マーケット視点での現地・現物DR

コンプライアンスマネージ（品保、設計管理、工場検査との連携）

HVシステム・フェールセーフ検討委員会の設置　（監査改良会議）
品質保証・工場品質検査による量産移行判断
届出認可項目と設計変更のコンプライアンス判断　（設計管理部門）
品質保証部門＊サービス部門との連携によるマーケット支援TF活動

あくまでも車両主査が主役、HVシステムチームは黒子

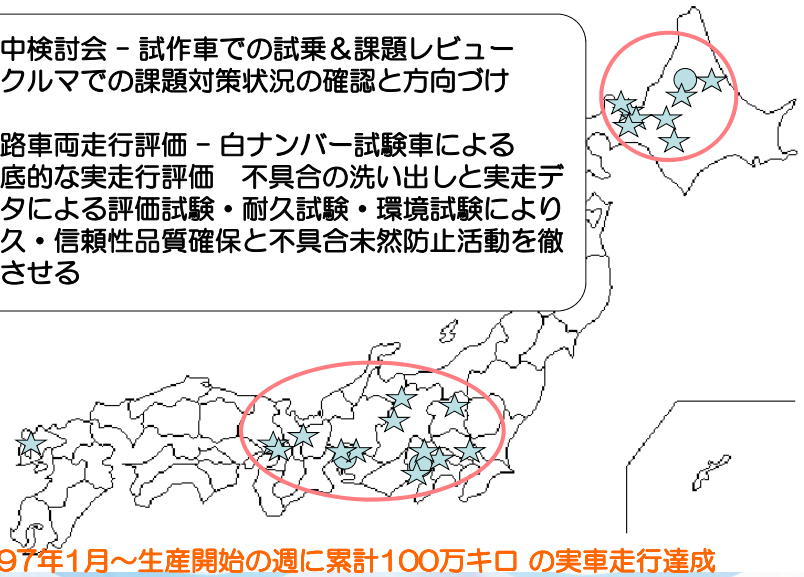
２ G21～初代プリウス開発へ

cordia

現地・現物・現車・現認　－　開発現場ベースのプロジェクトマネージ

集中検討会－試作車での試乗＆課題レビュー
クルマでの課題対策状況の確認と方向づけ

実路車両走行評価－白ナンバー試験車による徹底的な実走行評価　不具合の洗い出しと実走データによる評価試験・耐久試験・環境試験により耐久・信頼性品質確保と不具合未然防止活動を徹底させる

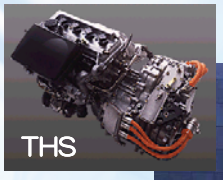


97年1月～生産開始の週に累計100万キロ の実車走行達成
その土俵の上で、念には念の未然防止活動とコンプライアンス遵守

2 G21～初代プリウス開発へ　新車発表へ

cordia

21世紀に間に合いました！



「このプリウスはトヨタの変革への挑戦から誕生した、自動車の21世紀をめざした新しい価値の提案であります。
　このプリウス以降もさらなる技術進化に挑戦し、社会のニーズに応え、自動車に課せられた夢と課題を現実のものとすることで21世紀をリードする企業でありたい。」
1997年10月　プリウス新車発表会　奥田社長挨拶

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

カーオブザイヤー受賞式の裏側で

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

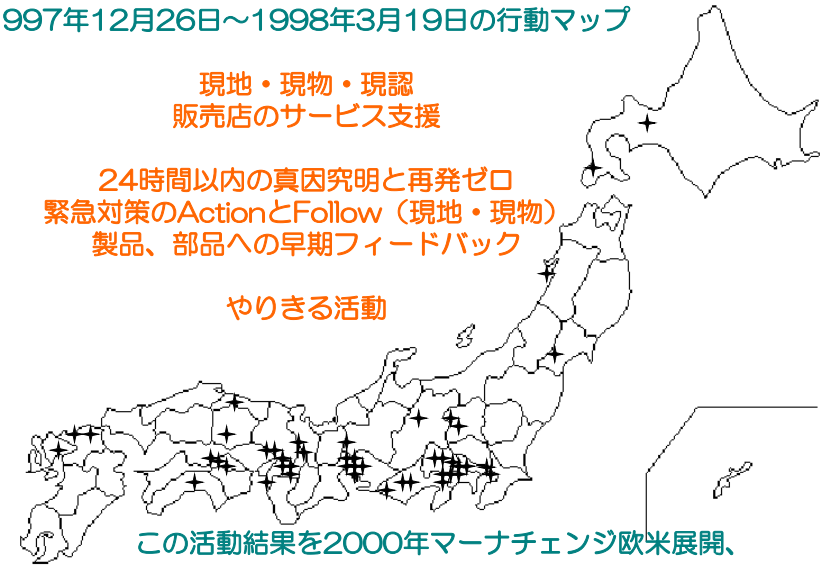
サービス支援＆品質向上タスクフォース活動

1997年12月26日～1998年3月19日の行動マップ

現地・現物・現認
販売店のサービス支援

24時間以内の真因究明と再発ゼロ
緊急対策のActionとFollow（現地・現物）
製品、部品への早期フィードバック

やりきる活動



この活動結果を2000年マーナチェンジ欧米展開、
2003年2代目プリウスに反映

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

初期/経年品質　NO1の獲得

Feb. 15th, 2012

Los Angeles Times | BUSINESS

PRIUS RANKED HIGHEST CAR IN J.D. POWER AND ASSOCIATES/WHAT CAR? 2008 UK CUSTOMER SATISFACTION INDEX STUDY

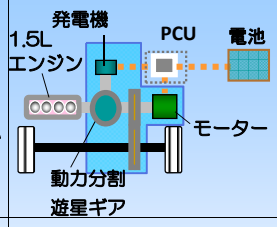
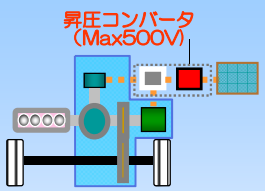
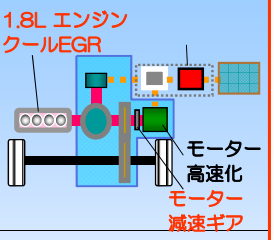
Car ratings: Toyota tops J.D. Power dependability rankings

TOYOTA PRIUS NAMED "MOST DEPENDABLE COMPACT CAR

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

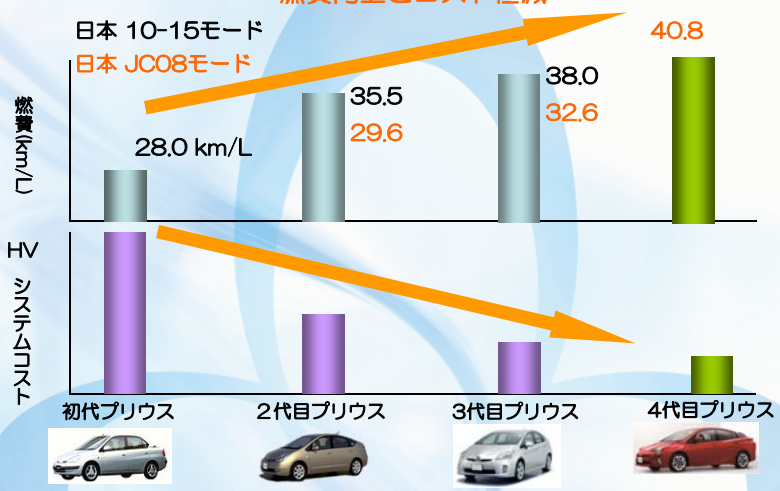
THSの進化

	'97初代プリウス（初期）	'03二代目プリウス	'09三代目プリウス
HVシステム		発電機とモータの高電圧駆動 	昇圧コンバータ（Max650V） 
エンジン出力	43kW	57kW	73kW
モーター出力	33kW	50kW	60kW
モーター最高回転	6,000rpm	6,400rpm	13,500rpm
電池出力	21kW（Ni-MH）	25kW（Ni-MH）	27kW（Ni-M）

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

燃費向上とコスト低減



ハイブリッドの進化=電動化の拡大にクルマは対応できている？

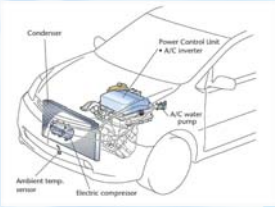
次世代自動車開発を支えてきた、材料・部品・システム技術の現状？

実用燃費は？

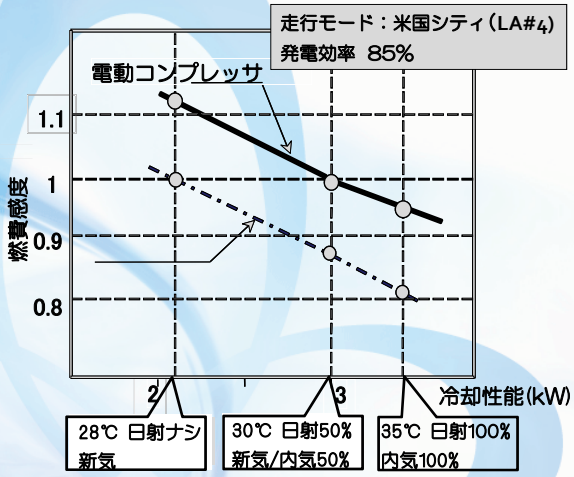
3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

2代目プリウス　電動エアコン採用によるエアコン運転燃費の改善



電動コンプレッサ

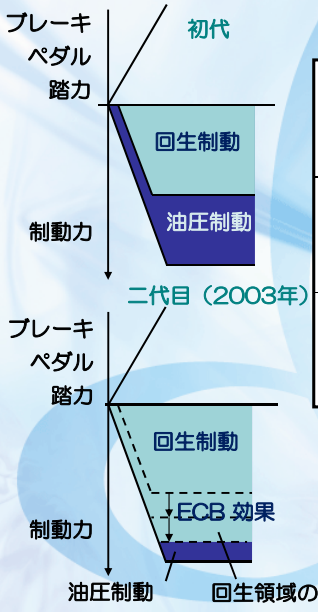


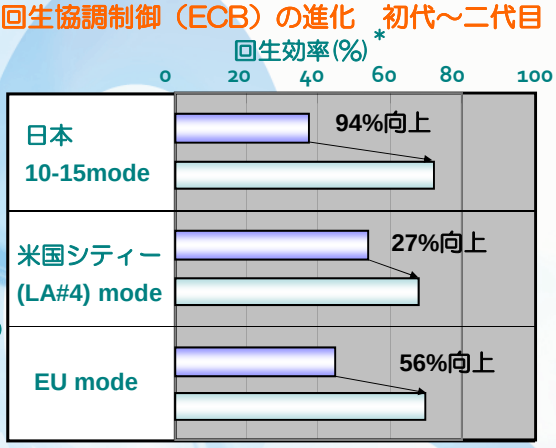
Tips
アイドルストップ領域の拡大、エアコン運転時の燃費向上
として電動化の方向　　作動電圧は？　48V/HV高電圧

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

電気駆動効率の改善と回生協調制御（ECB）の進化　初代～二代目





＊ 風損・転がり損を除き回生可能エネルギーに対する
エネルギ回収率（%）

それぞれ、70%以上の減速エネルギー回生を実現
（フルハイブリッドのチャンピオン）

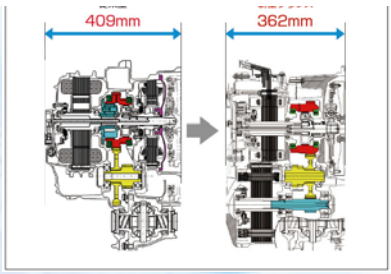
Tips 空力改善、転がり損失減、電気駆動効率向上、電池充放
電効率向上　→　エネルギー回収量増加　実燃費向上

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

THSの進化　4代目プリウス

副軸化による全幅短縮と効率向上



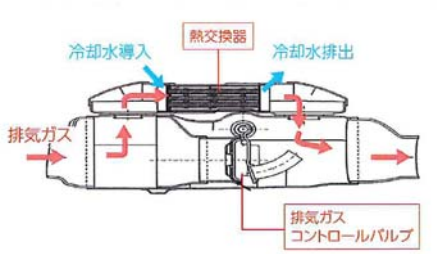
PCU効率向上

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

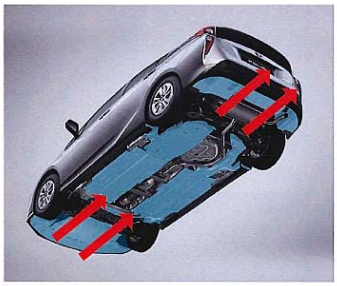
排気熱回収システムによるヒータ運転燃費の改善

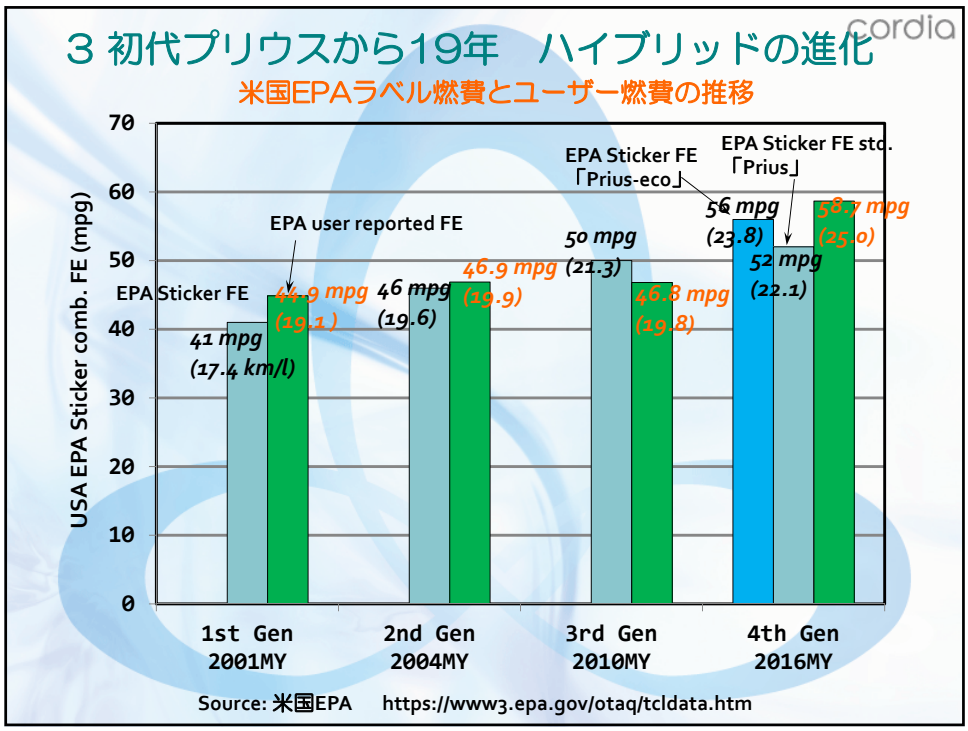
排気熱回収システム

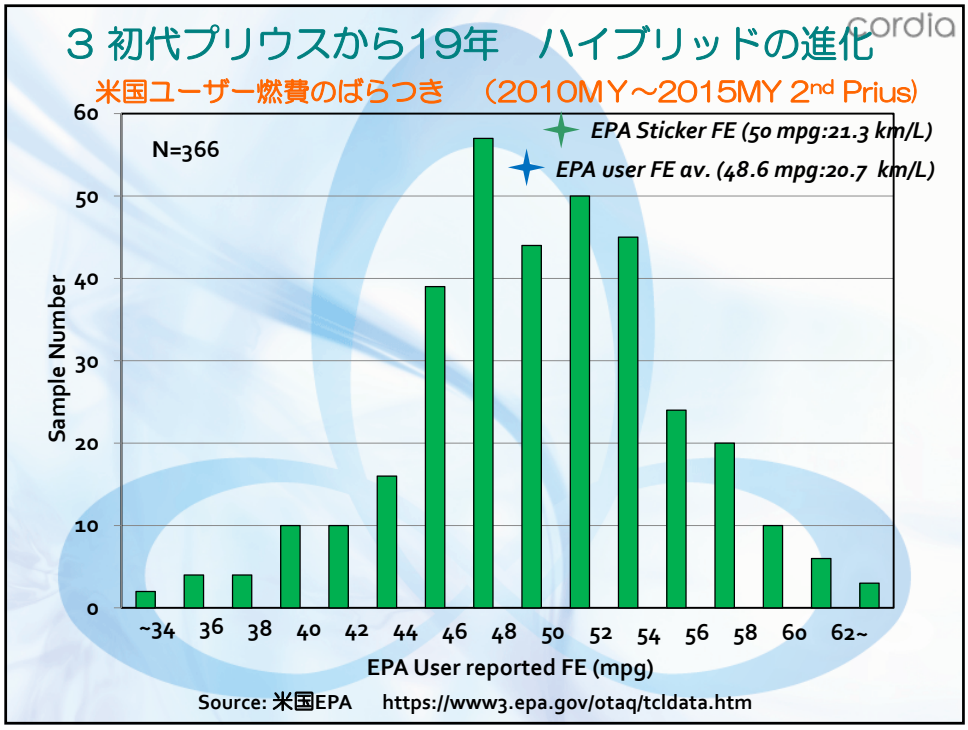


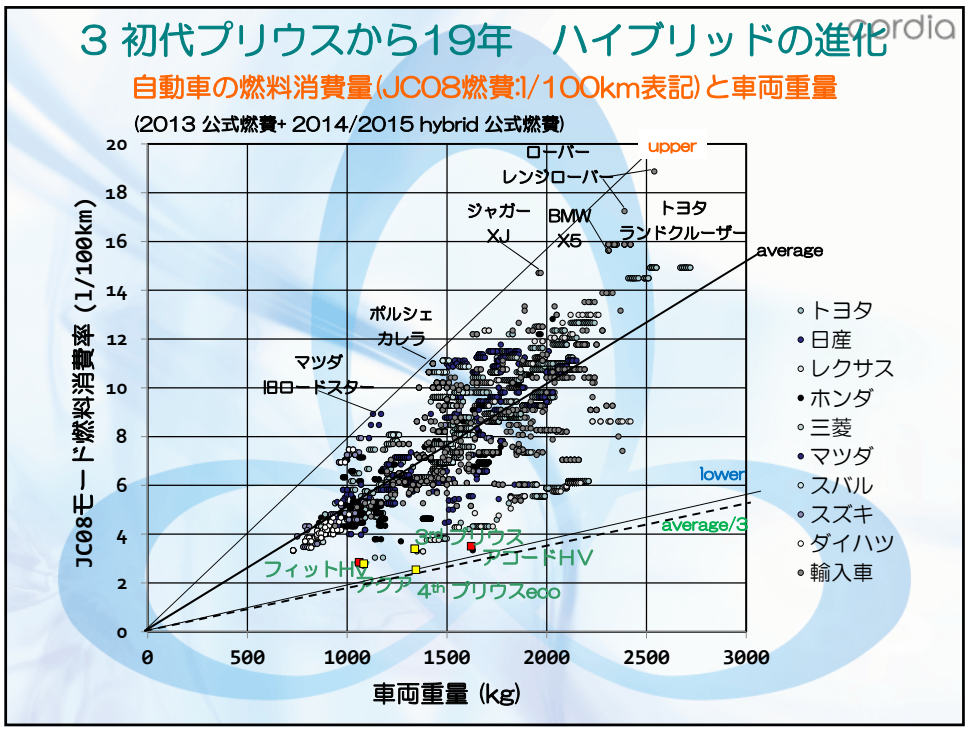
ラジエターシャッターによる暖機促進と空気抵抗低減

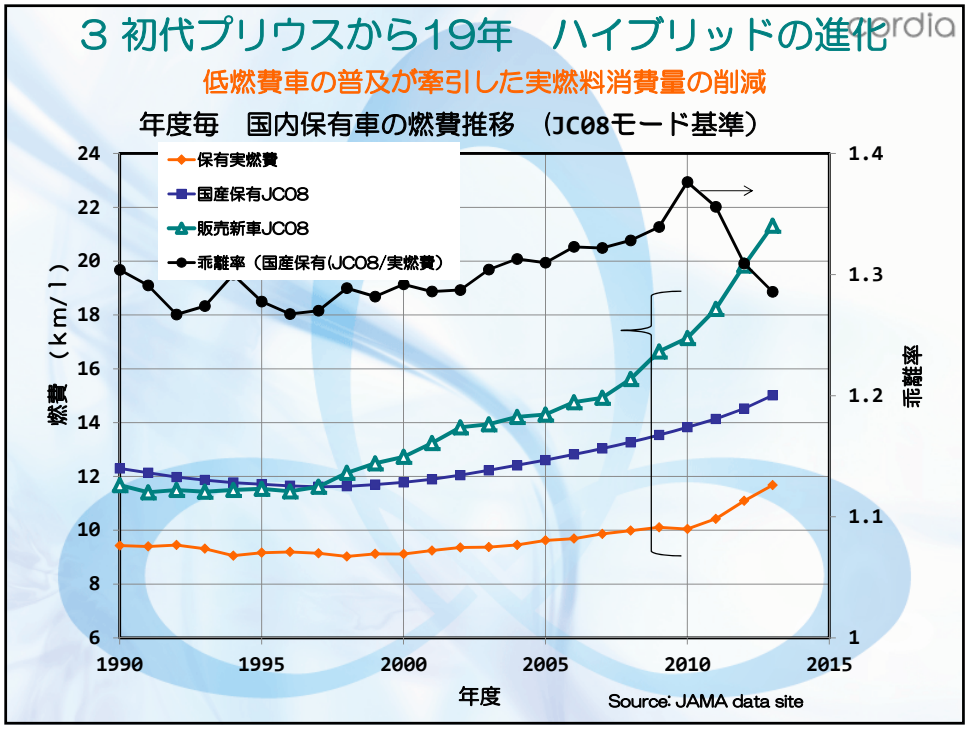
床下整流版による空気抵抗低減




3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化
cordia
米国EPAラベル燃費とユーザー燃費の推移
USA EPA Sticker comb. FE (mpg)
70
60
50
40
30
20
10
0
EPA Sticker FE
EPA user reported FE
41 mpg
(17.4 km/l)
44.9 mpg
(19.1)
46 mpg
(19.6)
46.9 mpg
(19.9)
50 mpg
(21.3)
46.8 mpg
(19.8)
EPA Sticker FE
「Prius-eco」
EPA Sticker FE std.
「Prius」
56 mpg
(23.8)
52 mpg
(22.1)
58.7 mpg
(25.0)
1st Gen
2001MY
2nd Gen
2004MY
3rd Gen
2010MY
4th Gen
2016MY
Source: 米国EPA　https://www3.epa.gov/otaq/tcldata.htm


3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化
cordia
米国ユーザー燃費のばらつき　(2010MY～2015MY 2nd Prius)
N=366
EPA Sticker FE (50 mpg:21.3 km/L)
EPA user FE av. (48.6 mpg:20.7 km/L)
Sample Number
60
50
40
30
20
10
0
~34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
54
56
58
60
62~
EPA User reported FE (mpg)
Source: 米国EPA　https://www3.epa.gov/otaq/tcldata.htm

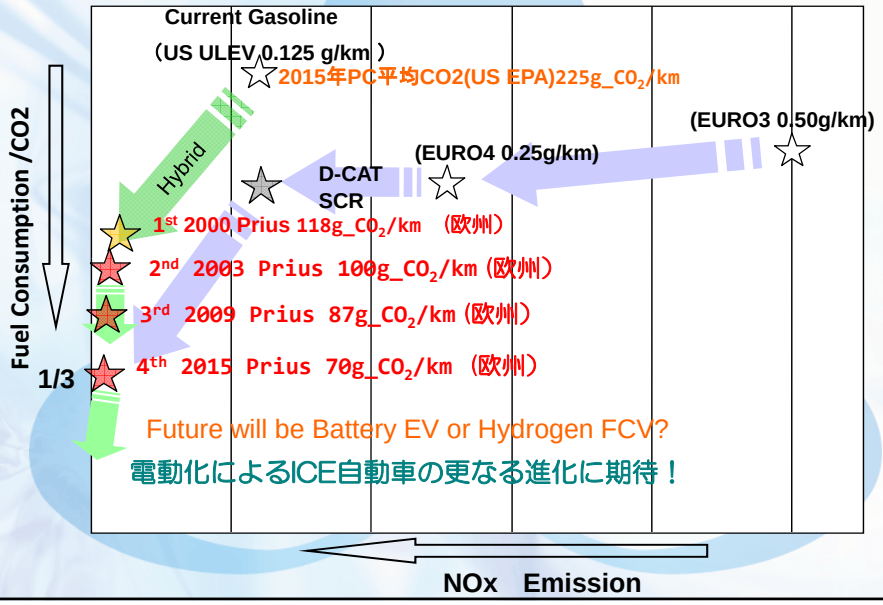

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化
自動車の燃料消費量(JC08燃費:1/100km表記)と車両重量
(2013 公式燃費+ 2014/2015 hybrid 公式燃費)
JC08モード燃料消費率（1/100km）
車両重量（kg）
upper
average
lower
average/3
ローバー
レンジローバー
ジャガー
XJ
BMW
X5
トヨタ
ランドクルーザー
ポルシェ
カレラ
マツダ
旧ロードスター
フィットHV
アクア
3rd プリウス
アコードHV
4th プリウスeco
トヨタ
日産
レクサス
ホンダ
三菱
マツダ
スバル
スズキ
ダイハツ
輸入車


3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化
低燃費車の普及が牽引した実燃料消費量の削減
年度毎　国内保有車の燃費推移　（JC08モード基準）
保有実燃費
国産保有JC08
販売新車JC08
乖離率（国産保有(JC08/実燃費）
燃費（km/l）
乖離率
年度
Source: JAMA data site

3 初代プリウスから19年　ハイブリッドの進化

cordia

次世代自動車へのチャレンジ　クリーン＆低CO2を高度に両立



4 地球環境の安全・安心と次世代自動車

cordia

プリウス発売からの自動車産業界の19年

- トヨタ＊ホンダ　「プリウス」 vs 「インサイト」 HVバトル
- 2009年　日産「リーフ」　GM「Volt」EREV発売
- リーマンショック　GM破綻　/　トヨタ赤字転落
- テスラ「モデルS」発売
- 公式燃費値詐称事件　：　現代-起亜、(Ford)
- VWディーゼルゲート事件
- 水素燃料電池車　発売　（現代自、トヨタ、ホンダ）
- 三菱自燃費不正事件・スズキ走行抵抗詐称事件

品質不具合、大規模リコール多発

- トヨタの大規模リコール　（予期せぬ暴走問題、プリウスブレーキ）
- GMスタータスイッチ
- ホンダ・ハイブリッドの連続リコール
- タカタ製エアバッグ問題

クルマ開発の仕組み論争　摺り合せ（日本）－モジュール(欧州)

自動操縦自動車・ドライバーレスカー・コネクティドカー

4 地球環境の安全・安心と自動車の未来

cordia

ICEハイブリッドはリリーフ？　将来はBEVと水素FCV

Nissan LEAF　電池　24/30 kWh

Tesla Model S 電池　60~90 kWh

Bolloré Bluecar 電池 30 kWh

BYD e6　電池 75 kWh

BMW i3　電池 22 kWh

GM Bolt 電池 60 kWh（未発売）

Hyundai Tucson FCV

Toyota Mirai FCV

Honda Clarity　FCV

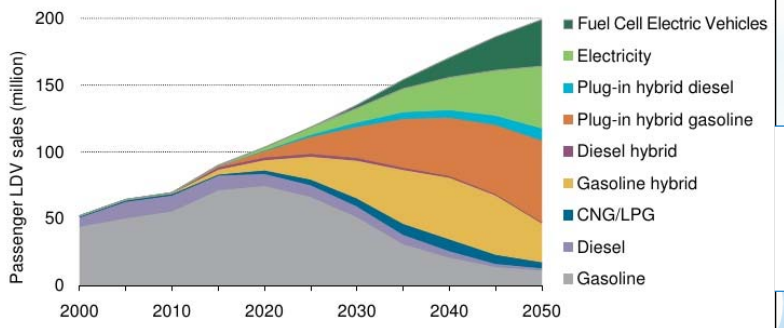
4 地球環境の安全・安心と次世代自動車

cordia

国際エネルギー機関（IEA）ETP2012と私の将来シナリオ修正提案

Electrified vehicles
~~Electric vehicles~~ need to come of age

ETP 2012



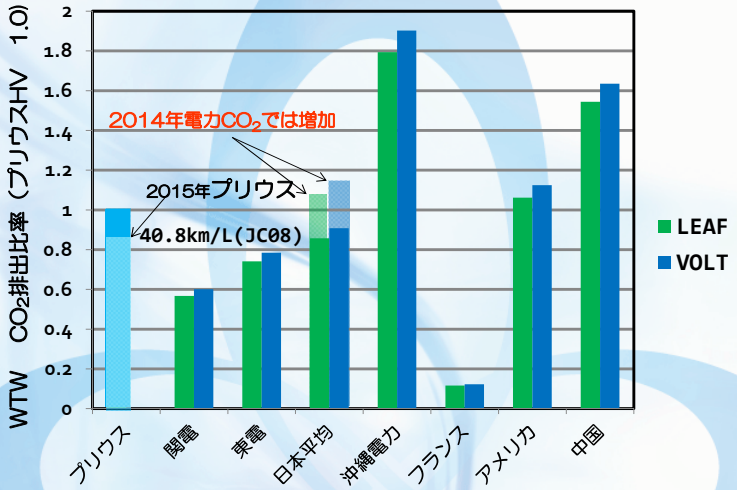
Almost 100%
~~More than 90% of light duty~~ vehicles need to be propelled by an electric motor in 2050

Even in 2050, more than 70 % vehicle will be still ICE

4 地球環境の安全・安心と次世代自動車

cordia

プラグイン車　EV走行のCO_2 WTW　（日本2008年/海外2011年基準）



データ出典：日本電力各社の発電CO_2　環境省発表　平成20年度の事業者別CO_2排出係数

：海外　電気事業連合会　「原子力・エネルギー図面集」　2011

＊WTWの計算条件　：送電効率　0.95 充電効率 0.90 ガソリンの採掘～輸送（WTT　0.85）

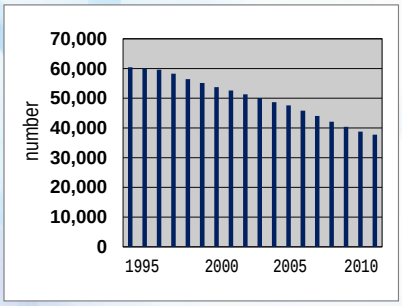
：走行時の電力消費　アメリカEPA公表値を使用

4 地球環境の安全・安心と自動車の未来

cordia

自動車用燃料供給インフラの課題とこれから

日本のガソリンスタンド数推移



cordia

ハイブリッド・プリウスの進化

「信頼性品質と実走行燃費向上の取り組み」

初代プリウスから19年、まもなくハイブリッド車累計販売1000万台突破
しかし、まだグローバル自動車の1%未満
電動化が次世代自動車のコア技術だが、ICEの進化にも期待
いずれんせよ自動車の基本は「安全・安心とリアルでのクリーン」

ご静聴ありがとうございました

cordia

株式会社コーディア　HP: http://www.cordia.jp
次世代自動車とエネルギーの今が分かる　メール・ニュース会員募集中