

The International CHP/DHC Collaborative



Advancing Near-Term Low Carbon Technologies

■ 熱電併給／地域冷暖房に関する国別評価：ドイツ編

ドイツでは、2005 年時点で高性能の熱電併給（CHP）が、全発電量のほぼ 13%に達しており、室内暖房市場の約 14%を占める地域冷暖房（DHC）とともに、政府のエネルギー&気候変動政策を支援する戦略技術と位置づけられている。

2002 年施行の CHP 法が定めた、近代化した定格出力 2MWe 以下の小型 CHP プラントで発電された電気の優遇買取制度が、CHP 普及に貢献した。

また、2020 年までに CHP 発電を 2 倍にする目標のもと 2009 年新たに策定された CHP 法は、大型、小型に関わらず、すべての CHP に対して恩恵をもたらすものとなっている。

ドイツが定めた、CHP に関するその他の注目すべき政策支援として、以下があげられる：

- ・ EU 排出量取引対応として大型 CHP プラントを促進
- ・ CHP/DHC を優遇する建築基準
- ・ CHP の燃料として使われる天然ガスや灯油に対する税金免除
- ・ バイオガス炊き CHP に対する高いフィード・イン・タリフ（FIT）

特に最後の FIT は、ドイツにおけるバイオガス CHP 市場を、世界で最も活発な市場に育て上げた。さらに、ドイツは、燃料電池 CHP に関しても強力な支援を行っており、ヨーロッパにおけるホット・スポットの 1 つになっている。



■ ドイツのエネルギー事情

ドイツはヨーロッパ最大のエネルギー市場で、ヨーロッパ大陸の電気／ガス・ネットワークのバックボーンを形成している。

発電の大部分は石炭と原子力によっているが、これは今変わろうとしている。天然ガスの発電所が次第に増え、2006年、全発電量の11%となった。また、再生可能エネルギーによる発電は、更に急速な成長を遂げている。一言で言うとバランスのとれたエネルギー供給を形成しつつあり、この傾向は恐らく今後も継続するよう見える。

一般家庭の電力消費は、ドイツの最終エネルギーの29%を占めているが、その内の89%は、暖房および給湯需要である。

四大公益企業（EON、RWE、EnBW および Vattenfall）がドイツの電力需要のほとんどをカバーしているが、Stadtwerke と呼ばれる地方都市公益企業は、電気と熱供給を行っており、CHP を利用した地域冷暖房サービスを提供している例も多く見受けられる。主要な公益企業すべてが新しい発電所を建設しており、地方にある多くの CHP および DHC システムの近代化が進行中である。

ドイツ政府の直近の目標は、2020年までに全発電量における CHP のシェアを現在の2倍の25%にすることである。この目標が達成するかどうかは、2009年発効となる新しい CHP 法の成功いかんにかかっている。

主として FIT を使用した強い政府の支援によって、ドイツは再生可能エネルギーの主要市場になった。太陽光発電と風力発電の市場は、今や世界で最大である。また、バイオガス CHP の発電容量は、2000年の180MW から2006年には1GW以上に成長した。

■ 気候変動に関する動き

京都議定書のもとで、ドイツは温室効果ガスを2008年から2012年までに、1990年レベルから21%削減する目標を立てている。この目標を達成するべく、2007年12月、ドイツ政府は、CHP および DHC の支援を含む一連の対策をエネルギー&気候変動プログラムの中で発表した。排出量取引は、ドイツにおけるエネルギー関連の温暖化ガス排出削減の柱となるものである。

- EU 域内排出量取引制度(EUETS) を通じて、政府は、2008年～2012年の間にエネルギー部門のCO₂ 排出量を5億3250万トン／年から4億9500万トン／年に削減する目標を立てている。
- 発電のみのプラントに大幅な削減目標が課されており、2000年-2002年のベースラインから15%削減しなければならない(4780万トン／年の削減)
- 一方、産業プラントおよび CHP プラントの削減目標は1.25%の削減となっている(270万トン／年の削減)

- 欧州委員会が、2007年2月にドイツが作成した第2回国別割当計画（NAP2）より排出量割当てを厳しくしたため、同国は、今、その目標を満たすべく努力しているところである。

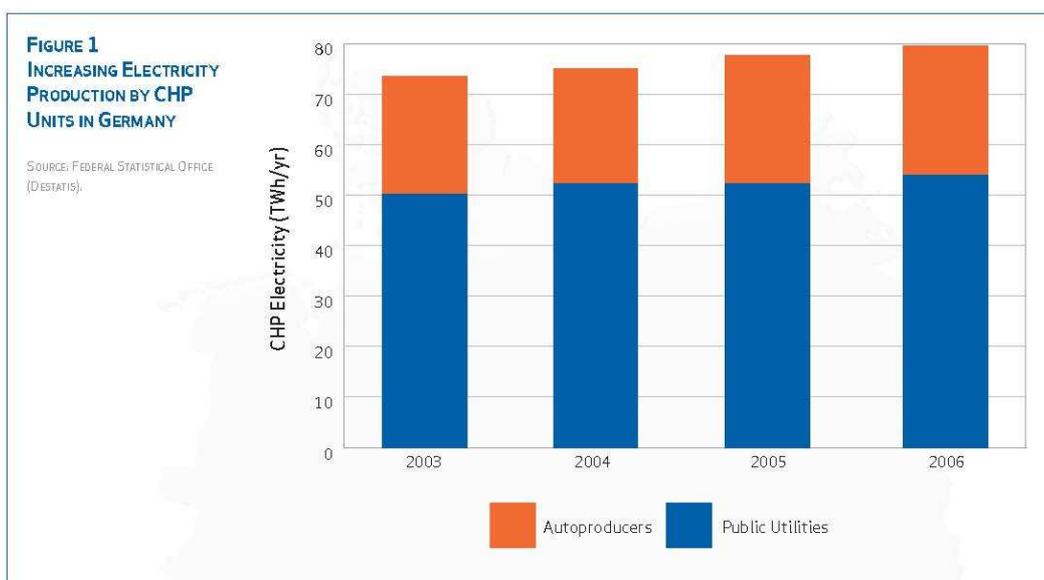
■ CHPの利用状況:技術、適用事例および市場活動

2005年時点で「高性能」なCHPと認定されたCHPは、設備容量にして21GWになり、CHPによる発電量は、全発電量の12.6%になった。Table 1は、2005年のドイツにおけるCHP利用状況である。

TABLE 1
OVER 20 GW OF CHP CAPACITY WAS INSTALLED IN GERMANY IN 2005

	Total	Autoproducers	Public Utilities
Maximum capacity (GW)	20 840	9 164	11 676
Electricity production (TWh net)	77 851	25 541	52 310
Number of units	2 938	836	2 102

SOURCE: FEDERAL STATISTICAL OFFICE, DATA FOR EUROSTAT.



- **産業界での利用**
化学・鉱業は、ドイツにおけるCHPのメインユーザである。産業部門のCHPプラントは、大抵の場合、その産業の事業者自身により所有・運転されているが、いくつかのプラントは、会社と契約を結ぶ第三者に外部委託されている。CHP自体の長期的な存続が不確かで、かつ、CHP法が産業用CHPプラントの奨励を目指していなかったため、近年産業用CHP向けの市場は低調だった。
- **地域暖房としての利用**

CHP は、ドイツでは地域暖房に広く利用されている。ドイツの市区町村では、100 年以上にわたって多く都市で企業および住民向けに熱と電力を提供する地域暖房 CHP システムを開発してきた。多くの Stadtwerke が、強力な政府の支援と、その仕組みの経済的な魅力に促されて CHP および DH への投資を拡張し始めている（「事例研究 1： Saar 地域暖房システム」参照）。

四大公益企業は、大規模発電所をコアビジネス用に運転しているが DH 用には、相当数の CHP 設備を保有している。E.ON と Vattenfall は従来保有していた発電所を CHP プラント化し、地域の DH ネットワークに接続した。一方、RWE と EnBW は、産業用に CHP を展開している。Stadtwerke は、地域エネルギー供給の手立てとして CHP プラントを建設し、CHP 市場での重要なプレーヤーとなっている。

今日、Stadtwerke は、更なる DH/CHP 設備開発に興味を持っている。なぜなら、政府の DH/CHP 普及促進施策とガソリン価格の高騰により、他の方法に比べて DH/CHP 方式が経済的に魅力的になっているからである。

したがって、多数の Stadtwerke が、既存のプラントを近代化するか、あるいは新しいものを開発しようと努力している。34 の Stadtwerke で、(設備容量の合計が 2200MWe の) 新しいプラント構築を計画しており、他の 29 の Stadtwerke も、設備容量の合計 1,250 MWe の既存プラントの近代化を検討している。なお、ほとんどの Stadtwerke は、ドイツの地域暖房協会(www.agfw.de)のメンバーである。

- 中小企業および家庭での利用

ドイツでは、民間 CHP ビジネスはマイナーな存在である。なぜなら、多くの CHP 向きのオフィスや公共ビルには、すでに市区町村の地域暖房サービスが入っているからである。ただし、病院やホテルのようなビルで CHP が使われだしてきており、新 CHP 法のおかげで、民間 CHP ビジネスの流れは継続し、恐らく、加速するだろう。

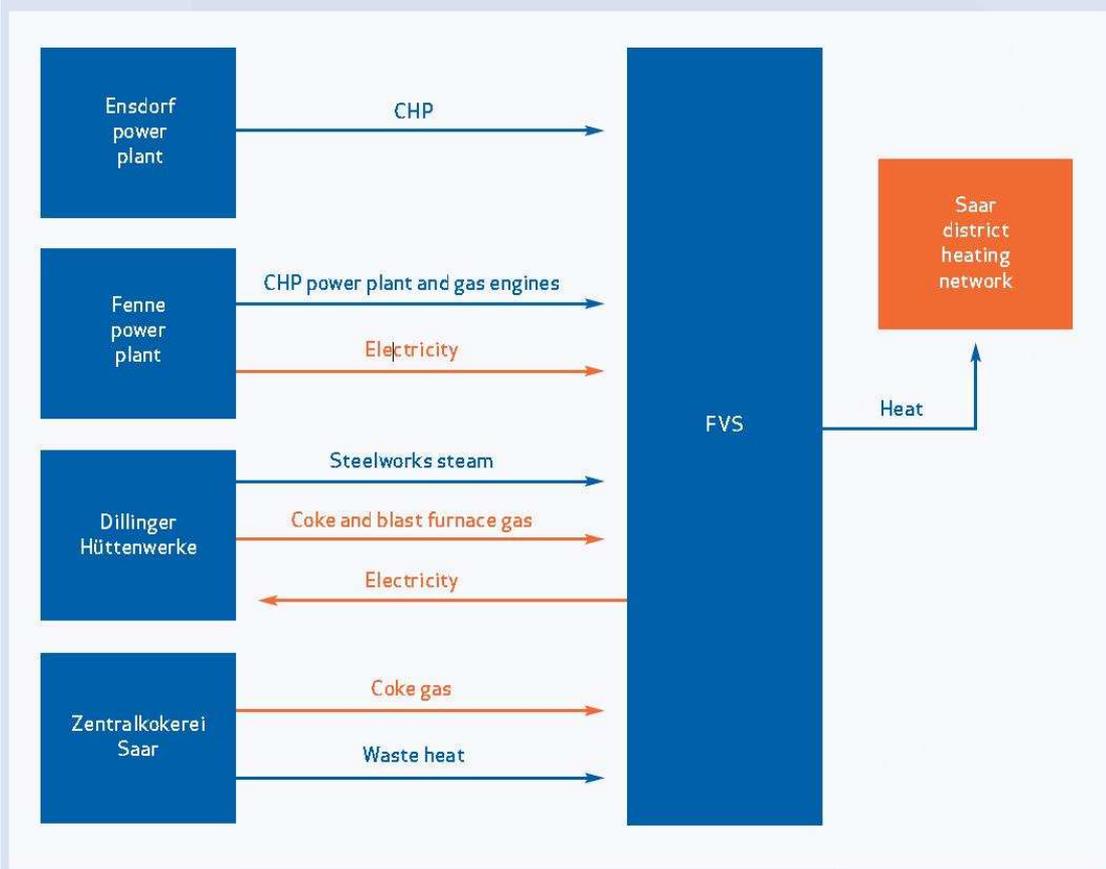
家庭向けのマイクロ CHP の市場も伸びてきている。マイクロ CHP の技術は、単身世帯向けに設計開発されたもので、5 kWe 未満の発電容量である。様々なドイツの CHP 会社およびボイラー・メーカーがマイクロ CHP 製品を提供している。そして、現在、数千のシステムが設置されているが、そのほとんどは実証プロジェクトのものである。この市場は、今後延びる可能性がある

事例研究 1: Saar 地域暖房システム

ザールブリュッケンでは、広範囲な地域暖房ネットワークがあり、13000以上の産業、商業および一般家庭の需要家に対して 680MW の CHP 容量でサービスしている (Figure 2)

最初の DH システムが稼働したのは、実に 1976 年である。以来、ドイツの DH システムは、時間をかけて拡張されてきた。開発投資には、2億 5200 万ユーロ投資されている。システム全体で、1年に 16 万トンの CO₂ を節約すると推測されている。

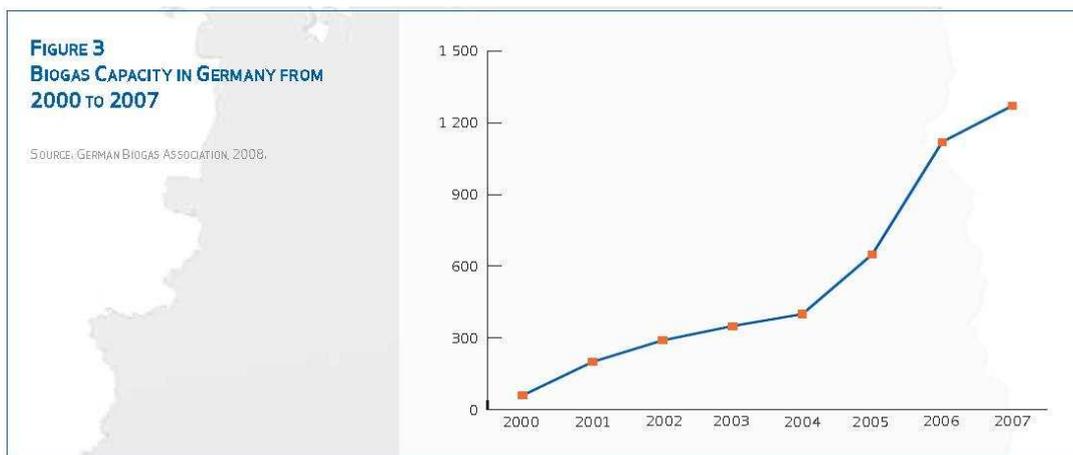
FIGURE 2
ENERGY SUPPLY TO THE SAAR DISTRICT HEATING SYSTEM



■ バイオガス CHP

ドイツのバイオガス CHP プラントの数は 2000 年以来増加し、2006 年に新設された発電容量は 335MWe だった。2007 年には、3700 ユニット以上が稼働しており、1271MWe の発電能力となっている。(Figure 3) バイオガスの原料は、埋立地ガス、下水ガス、

農業廃棄物や肥料等である。埋立地ガス資源は飽和状態であるが、農業起源のバイオガス分野は急速に成長している。ほとんどのバイオガス・システムは 1MWe 以下で、主にガスエンジンで利用されている。バイオガスの潜在能力は 110PJ/年と予測されており、これは 1GWe 以上の発電能力に匹敵する。2020 年には、バイオガス CHP プラントはおよそ 3 万サイト、合計発電容量 2768 MWe になると見積もられている。ドイツのバイオガス CHP 分野を成功に導いた立役者は、再生可能エネルギー法(EEG)である。(下記の CHP 促進政策参照)



Case Study. Biogas CHP Plant in Kupferzell



Location:	Kupferzell
CHP technology:	Microturbine
Installed capacity:	130 kWe
Biogas substrate:	Food industry waste and corn silage
Special features:	The exhaust from the micro-turbine is used directly for drying the wet fermentation residue to produce mineral fertiliser
Support:	Guaranteed electricity price bonus for biogas is up to 19.5 €c per kWh ¹³
Financial payback period:	3 to 5 years
CO ₂ emissions avoided:	500 - 1160 kg CO ₂ per MWh

SOURCE: GREENENVIRONMENT, 2008.

■ 政府の CHP 促進政策

ドイツ政府は、CHP 促進のため以下の様々なインセンティブ・スキームを導入している：

1. Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz : 2002 年 CHP 法
2. CHP で利用した天然ガス／加熱油に関して Ökosteuer (環境税) を免除し、加熱専用のボイラーから CHP への転換を促進
3. Erneuerbare-Energie-Gesetz (再生可能エネルギー法) でバイオガス CHP が経済的に見合うように FIT を設定
4. EEWärme-G (再生可能熱法) で CHP/DHC を補助手段と認可
5. ドイツ建築基準にプライマリ・エネルギー消費に関する基準を定め、エネルギー転換と配送の効率化を推進
6. EU 排出量取引対象として大型 CHP プラントを促進

■ Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (2002 年 CHP 法)

● 目標と予算

同法は、最新の小型 CHP プラントの普及促進と燃料電池 CHP の商用化により、1998 年との比較で 2010 年までに CO₂ 排出量 23Mt 削減を目指すもので、ドイツにおける CHP 政策の中核をなすものである。2010 年までの同法に対する予算措置は€45 億で、そのうち€3.58 億が燃料電池に充当されている。

● 優遇買取制度

CHP 法は、TSO (送電事業者) に対して CHP プラントの系統接続を義務付けるだけでなく、CHP 事業者との間での相対契約が成立していない場合でも、「正常な価格」での電気買取りを義務付けている。ここで、「正常価格」とは、ライプチヒにある卸電力取引所：EEX (European Energy Exchange) での、直近四半期のベースロード電力取引価格の平均として定義されている。

2002 年 4 月 1 日以降、定格容量 2MWe 以下の小型新設 CHP プラントにこの優遇買い取り制度が適用されている (Table 2 参照)。

さらに、CHP プラント内で使用する電力についてはネットワーク回避コスト (0.4 ~ 1.5€/KWh) が補てんされる。

TABLE 2

ELECTRICITY PRICE BONUS OF 2002 CHP LAW IS LIMITED TO EXISTING PLANTS AND NEW PLANTS WITH LESS THAN 2 MWE

Category	2006 (€/kWh)	2007 (€/kWh)	2008 (€/kWh)	2009 (€/kWh)	2010 (€/kWh)
Old plants (before 1990)	0.97	-	-	-	-
New plants (since 1990)	1.23	1.23	0.82	0.56	-
Modernised plants (modernised between April 2002 and December 2005)	1.69	1.64	1.64	1.59	1.59
New small plants (<2 MWe; after 2002)	2.25	2.25	2.10	2.10	1.94
New small plants (<50 kWe; 2002 to 2008)	5.10 (for 10 years after becoming operational)				
Fuel cells	5.10 (for 10 years after becoming operational)				

SOURCE: BHKW INFOZENTRUM, 2004.

また、系統接続したバイオガス CHP 事業者には Table 3 の優遇買取制度が適用される。

TABLE 3

GUARANTEED ELECTRICITY PRICE BONUS FOR BIOGAS IN GERMANY

Capacity range	Guaranteed electricity price (€/ kWh)			Maximum price
	Basic rate for electricity	Bonus for biomass	Bonus for CHP agricultural wastes and energy crops	
0 - 150 kWe	11.5	6.0	2.0	19.5
150 - 500 kWe	9.9	6.0	2.0	17.9
500 - 5 000 kWe	8.9	6.0	2.0	16.9
> 5 000 kWe	8.4	6.0	2.0	16.4

SOURCE: GERMAN BIOGAS ASSOCIATION, 2006.

■ 新 CHP 法（2008 年）

新 CHP 法は、2002 年 CHP 法を修正したもので、エネルギー・気候保全一括法案の一部として、2008 年 6 月に承認され、2009 年 1 月施行された。

これは、CHP の持つ潜在能力がフルに発揮された場合、CO₂ 排出量を年間で 54Mt 節約できるという最近の研究結果に基づき、2020 年までに CHP による電力供給を 2 倍の 25% にすることを目標としたもので、CHP の電力の優遇買取制度を継続するとともに、EU CHP 指令（2004/8/EC）を満足するよう、CHP で発電した電気の素性を明らかにし、高性能 CHP の定義を組込んだものである。

旧 CHP 法からの変更点は以下のとおり：

- TSO の CHP 系統接続義務および CHP 電力買取義務に関して再生可能エネルギー同様の実行優先順位が適用されるようにした。
- 優遇買取制度で CHP 設備容量の制限をなくし、2007 年から 2016 年の間で運用を開始する最新型新規 CHP プラントにも適用を拡大した。
- 系統接続する CHP の電力に関する規定を拡大して、CHP プラントのサイトで使う電力についても優遇買取制度を適用することとした。
- 地域熱供給の 60% 以上を支援する CHP プラントについて、熱導管ネットワーク

の新設及び拡張工事に補助金が出されることになった。この、熱導管ネットワーク支援の総予算は€1 億 5000 万で、開発者は工事予算の 20%、プロジェクトあたり€500 万を限度として、パイプ直径 mm・パイプ長 m あたり€1 が補助される。

■ その他の CHP 促進施策

- **環境税(Ökosteuern)の減免**

発電に利用する化石燃料は、もともと環境税を免除されていたが、CHP の熱供給ボイラーの化石燃料についても環境税が免除される。その免除額は結構大きく、熱出力定格 40MWe の CHP プラントでは 1 年あたり€200 万に上る

- **再生可能エネルギー熱法(EEWärmeG)**

この法律によって、新築建物はすべて、冷暖房・給湯のための熱供給には、一定割合の再生可能エネルギーの利用が義務付けられている。ただし、高効率 CHP や再生可能エネルギーを利用した DHC システムによって熱供給を受ける建物については、その義務が免除されている。

- **省エネ条例(EnEV: Energieeinsparverordnung)**

ドイツでは、建築規制条例の中で一次エネルギー利用の削減がうたわれており、CHP ベースの DH サービスを利用する場合 0.7、天然ガス炊きボイラー利用は 1.3、そして、電気の場合は 3.0 のエネルギー換算係数が用いられるので、DH 普及にとって有利になっている。

- **再生可能エネルギー法(EEG: Erneuerbar Energien Gesetz)**

EEG は、CHP ではなく、再生可能エネルギーの利用促進を狙ったものであるが、小型バイオガス CHP プラントに関して有利な固定買取価格を定めた。また、同法は、送電事業者に対して、再生可能エネルギーを使用する電源を優先的に系統接続し、かつ、発電された電気を買取る義務を課している。

2008 年 6 月に策定され、2009 年 1 月より施行される新再生可能エネルギー法では、買取価格等が Table 4 のように改定されている。

TABLE 4
GUARANTEED ELECTRICITY PRICE BONUS FOR BIOGAS IN GERMANY UNDER THE EEG 2009

Capacity range	Guaranteed electricity price (€/ kWh)			
	Basic rate for biomass	Bonus for agricultural wastes and energy crops	Bonus for CHP	Maximum price
0 - 150 kWe	11.67	11.0/9.0	3.0	25.67
150 - 500 kWe	9.18	9.0	3.0	21.18
500 - 5 000 kWe	8.25	4.0	3.0	15.25
5 000 kWe - 20 000 kWe	7.79	0	3.0	10.79

SOURCE: GERMAN FEDERAL ENVIRONMENT MINISTRY, 2008.

政府の支援により、ドイツのバイオガス CHP 企業は、世界中で最も経験豊富でアクティブな会社となり、その専門知識を活かして多数、他のヨーロッパ諸国、北アメリカおよびアジア市場に参入している。

政府は、バイオガス CHP 分野が継続して成長するためには、今後も支援を続けなければならないことを十分認識しており、買取価格を引き上げるとともに、国内の他の CHP プラントでもバイオガスが使えるよう、天然ガス配送ネットワークにバイオガスも相乗りできるよう、法案化を推し進めている。

- **排出量取引**

政府は、CHP を促進するためにも、EU 排出量取引に取り組むことが重要と考えている。

■ **マイクロ CHP と燃料電池に関する戦略**

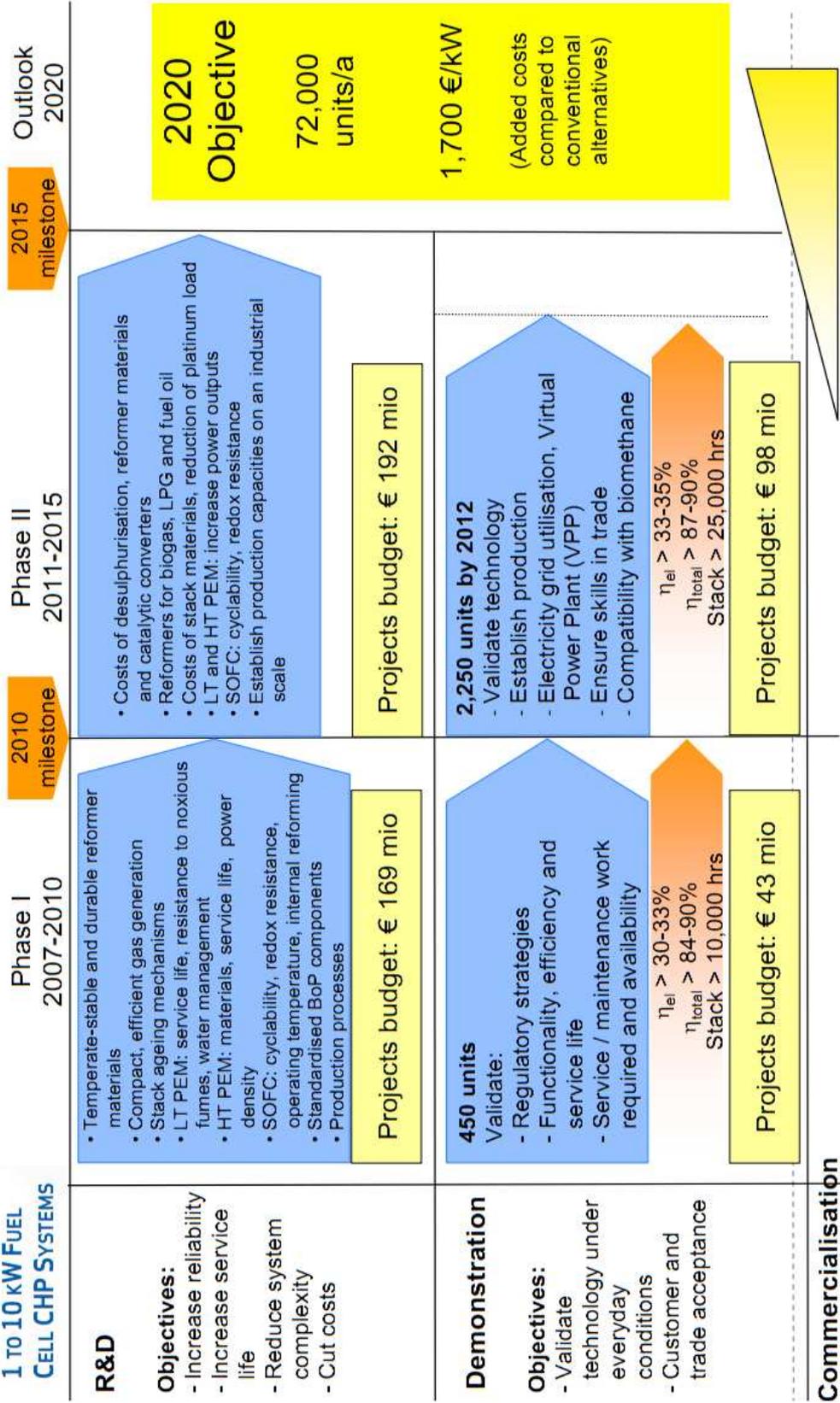
2007 年、ドイツ政府は水素と燃料電池技術開発のための国家プロジェクト：National Innovation Programme（予算総額€5 億）を立ち上げ、燃料電池業界、エネルギー企業および研究所との共同開発を開始。ドイツは、燃料電池分野でヨーロッパの先端を行っている。

燃料電池には 4 つの適用分野：輸送用、移動用、産業用 (>100kW) および家庭用 (1-10kW) があるが、プロジェクト予算のうちの€1.25~1.5 億は (CHP を含む) 据置型燃料電池開発に割当てられている。

Figure 4 は、2020 年までに、年間 72000 台の家庭用燃料電池 (1-10kW のシステム) を普及させるためのロードマップである。2010 年までに 450 台、その後 2 年間は年 2250 台と設置台数を増やしていき、2020 年には年間 72000 台の設置を実現するべく、2015 年まで家庭用燃料電池普及促進のための補助を実施する。

燃料電池開発企業並びにエネルギー会社は、今後、一戸建てやタウンハウス向けに、1-10kW の燃料電池が有望な市場になると信じ、燃料電池の開発、普及に努めている。

FIGURE 4
GERMANY'S FUEL
CELL ROADMAP FOR
1 TO 10 kW FUEL
CELL CHP SYSTEMS



■ ステークホルダー

● 政府

ドイツ連邦政府の以下の複数の部門が CHP 普及促進にかかわっている。

- ・ 経済技術省 (BMWi) : CHP を含むエネルギー政策全般に責任を持つ
- ・ 連邦環境・自然保護・原子炉安全省 (BMU) : 気候変動と再生可能エネルギー政策に責任を持つ
- ・ 経済・輸出管理庁 (BAFA) : CHP 法の策定と、CHP 普及促進に責任を持つ
- ・ 環境庁 (UBA) : BMU 内の科学アドバイザーとして、CO₂ 並びに公害物質の排出規制に責任を持つ
- ・ ネットワーク規制庁 (Bundesnetzagentur) : エネルギー市場の規制機関で、エネルギーに関する競争市場育成に責任を持つ

● 産業界

- ・ 自治体営電力会社 (Stadtwerke) : CHP プラントを所有・運転する
- ・ 自治体企業連盟 (VKU) : CHP プラントを所有・運転する自治体公益企業の集まり

● NGO

- ・ ドイツ CHP 協会 (B.KWK)
- ・ ドイツ地域暖房協会 (AGFWeV)
- ・ ドイツバイオガス協会 (fachverband Biogas)

■ CHP 普及の阻害要因

エネルギーセキュリティはドイツのエネルギー政策の要であり、CHP プラントの運転もその枠内で考えられているが、CHP の燃料の大半を占める天然ガスの国内生産が減少しており、輸入ガスへの依存が問題となってきた。

しかし、CHP に関するエネルギーセキュリティ上の問題には、プラスとマイナスの両面がある：

- 天然ガス価格が上昇すると、代替燃料であるバイオガスが魅力的となり、CHP 燃料として再生可能エネルギーへのシフトが期待できる。
- 政府の施策として天然ガス消費の増加を抑制しようとするかもしれず、CHP の運転に影響する。
- 既存の CHP 法は新設される 2MWe 未満の小型 CHP への固定買取制度適用を制限し、DHC インフラ構築に対するインセンティブがない。2008 年の新 CHP 法では、この問題にも取り組もうとしている。

■ CHP のポテンシャル

連邦経済・技術省 (BMWi) は、CHP プラントが、技術的には年間 357TWh の電力 (発電量の 57%) を提供できると試算しており、2010 年までに 2.1GWe の産業用 CHP と、1.3GWe の DH/CHP が新たに使用可能になるだろうと予測している。また、新 CHP 法では、2020 年までに電力供給の 25% を CHP から供給することが目標となっている。ブレマー・エネルギー研究所 (BEI) および シュトゥットガルト大学エネルギー経済・エネルギーの合理的な利用研究所 (IER) は、ドイツの CHP プラントが年間 300～350TWh の電力 (国内電力需要のおよそ 37%) を供給する潜在能力があるという調査結果をまとめており、DHC の普及により、CO₂ 排出量を年間 5400～8000 万 Mt 削減できる可能性があるとしている。

IEA の国際 CHP/DHC 共同事業 (International CHP/DHC Collaborative) では、上記の予測より控えめではあるが、ドイツ政府が今後も強力に CHP/DHC 普及促進施策を推し進めれば、CHP による電力供給能力が 2030 年には年間 250TWh となると見積もっている。

また、G8 および他の 5 つの経済大国で CHP 使用が増加すれば、以下のような便益が得られると予想している：

- 今後 2030 年まで、エネルギー投資コストを 3-7% 減少できる
- 消費者の電気代が少しだけ安くなる
- 2030 年までに CO₂ 排出量がおよそ 10% 削減できる

現在、国内電力需要に占める CHP からの電力供給は 12.6% に過ぎないが、CHP の電力供給は今後はるかに大きくなる可能性を秘めている。ドイツ政府もこれに気づいており、最近のエネルギー&気候変動プログラムにおいて、CHP が大きく取り上げられている。

■ IEA からの政策提言

- **市街地開発での CHP/DHC 採用**

地方自治体の地方都市開発コンセプトに CHP を利用した DHC のような技術インフラを組み込む。

- **CHP 向けの天然ガス利用優遇**

CHP での利用を含め、効率的な天然ガス利用方法にインセンティブを付与するようなエネルギー政策を採り、CHP プラントが競争価格で天然ガスを使えるよう支援する。例えば、発電において環境税を導入する一方で、CHP プラントの発電では環境税の適用を免除する。

- **バイオガス CHP への支援継続**

再生可能エネルギー法を含め、既にバイオガスを優遇するフレームワークができているが、固定価格での買取制度で、潜在的なバイオガス生産者の市場参入を促すとともに、CHP による発電電力の買取価格上乗せでバイオガスの効率的な利用を促進する。

天然ガス・ネットワークにバイオガスの給送を許可することでバイオガスの利用が飛躍的に伸びることが期待できる。

- **バイオガス産業のノウハウの輸出**

これまでの政府の手厚い支援でドイツのバイオガス産業は、広範な技術と経験を積み、世界で最先端のノウハウを持つに至っている。その技術や、やり方に関するノウハウの輸出することで、再生可能エネルギーを有効活用しようという国々がドイツの専門知識を学ぶことができる一方で、ドイツ企業にとって新しいビジネス機会をつくりだす。

■ ドイツの CHP/DHC 評価

★★★★☆ : CHP/DHC は、国としてエネルギー政策の最重要項目(またはそれに近い)で、首尾一貫した戦略として、一連の効果的な施策が打ち出されているので、CHP/DHC 市場の成長が期待できる。