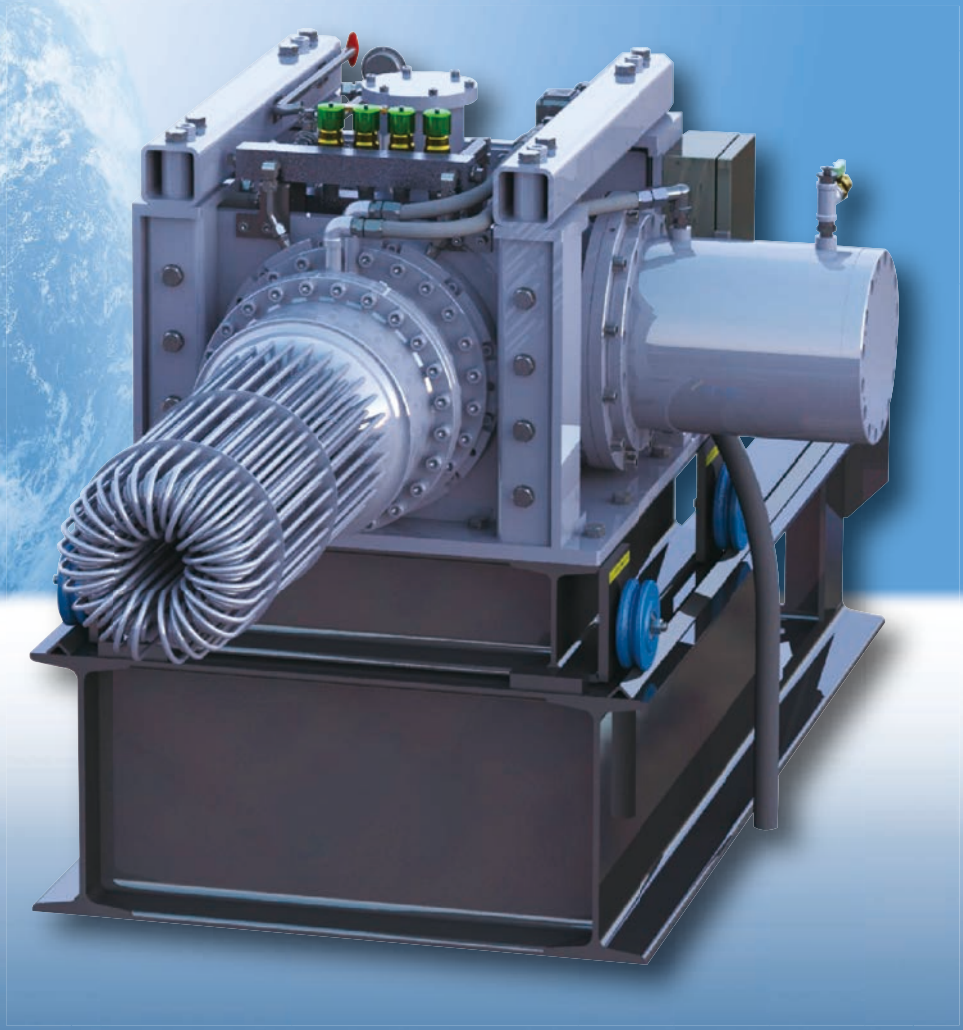
排熱発電利用向け
1基 9.9kW

STIRLINGENGINE

スターリングエンジン
発電設備



ヤンマーｅスター株式会社

スターリングエンジン発電設備とは

- 工場の排熱、バイオマスの燃焼熱など、さまざまな熱源を利用して発電することができます。
- 500 ～ 800 ℃の未利用熱を利用した、発電効率 20 % 以上の優れた発電設備です。
- 高温の熱源と、工業用水などの冷却水の温度差を利用した外燃機関です。

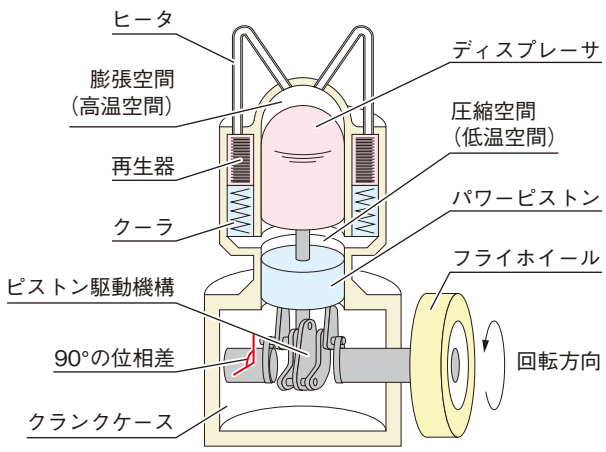


図１　β形スターリングエンジン基本構成

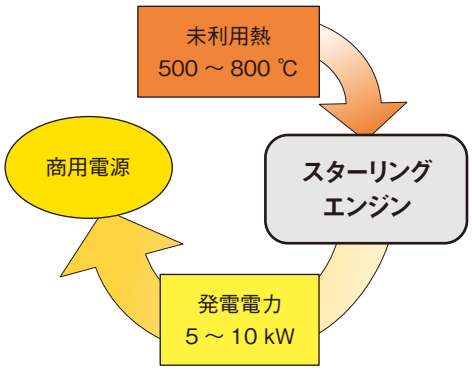


図２　排熱～発電までの流れ

●主要仕様

名称		10 kW 排熱利用スターリングエンジン発電設備
型式		SE220-100C（直接対流式）／ SE220-100R（輻射式）
設置方式		屋内設置形
発電方式		スターリングエンジン駆動永久磁石式発電機方式
出力	発電出力	9.9 kW
	周波数	50/60 Hz
	相数・電圧	3 相 /220 V
エンジン	使用ガス	ヘリウム
	ディスプレーサ行程容積	2850 cc
	パワーピストン行程容積	2470 cc
	定格回転数	800 min^{-1}（800 rpm）
	熱源温度範囲	500 ～ 800 ℃
	定格作動ガス圧力（絶対圧）	2.8 MPa
発電機	形式	永久磁石式発電機
	定格出力	11.0 kW
	相数	3 相
	定格電圧	AC220 V
発電効率（発電機出力 / エンジン取り込み熱量）		25 %（750 ℃、1000 Nm^3/h）
冷却水量		25 L/min（1.5 m^3/h）
外形寸法（制御盤除く）		幅 1364 mm ×奥行 2147 mm ×高さ 761 mm

スターリングエンジンの構成

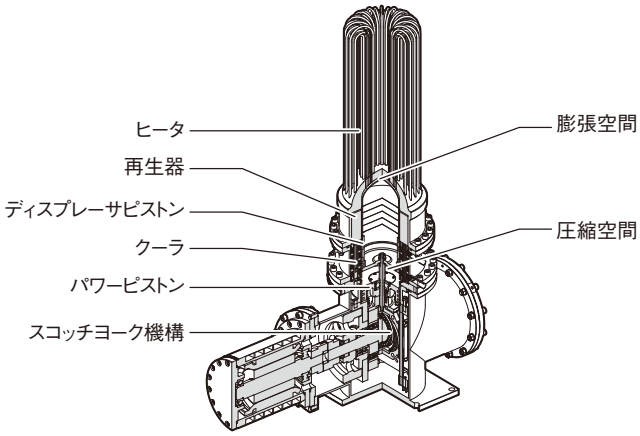


図３　スターリングエンジンの基本構造

基本構造

スターリングエンジンは同一シリンダにディスプレーサピストンとパワーピストンを配置するβ形と言われるタイプです。ディスプレーサピストンとパワーピストンとに位相差をつけて構成されています。焼却炉や工業炉などの炉内や排気ダクトの排熱部にスターリングエンジンのヒータを挿入します。クーラに工業用水などの冷却水を供給します。排熱から熱エネルギーを回収することでエンジンが駆動され、エンジンに連結された回転発電機により発電します。ヒータは耐熱ステンレス製の多管式熱交換器、クーラは円環形状をした熱交換器です。発電機を駆動する回転運動にピストンの往復運動を変換するためにスコッチヨーク機構を採用しています。

熱媒体

エンジン内部に熱媒体として、ヘリウムガスが充填されています。ディスプレーサピストンの往復駆動により、ヘリウムガスは往復流となります。往復流の連通路の空間は膨張空間からヒータを通り、蓄熱機能をもつ再生器とクーラを経て、圧縮空間に繋がっています。連通路以外の空間は、クランクケース内部や発電機内部により形成された空間であり、ヘリウムガスで充満している空間となります。

作動原理

■加熱 ~ 膨張行程

ディスプレーサピストンが上死点から下死点に移動するとき、排熱にさらされたヒータが排熱から熱エネルギーを受けてヒータ内部を通過するヘリウムガスが加熱され、膨張することで、エンジンの連通路の圧力は大きくなります。パワーピストンに掛かる空間の圧力も増大することによって、パワーピストンは押されます。（図３、図４）

■冷却 ~ 圧縮行程

次にディスプレーサピストンが下死点から上死点に移動するとき、ヘリウムガスがクーラを通過すると、ヘリウムガスは冷却され収縮するため、エンジンの連通路の圧力は小さくなります。パワーピストンに掛かる空間の圧力も低下するため、パワーピストンは引上げられます。（図３、図４）

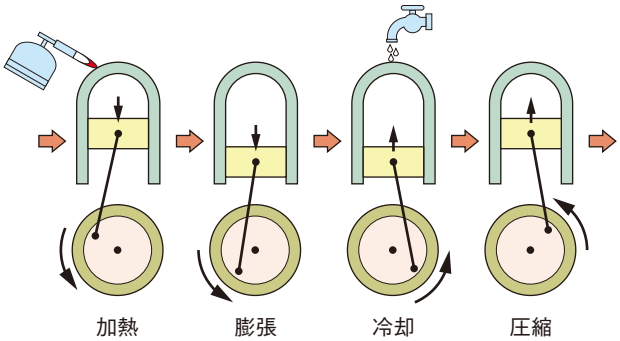


図４　スターリングエンジンのイメージ

スターリングエンジン発電設備の設置例

■自治体ごみ焼却場（ストーカ炉等）

焼却炉側壁、天井、炉出口煙道等の高温部の空きスペースにエンジンを設置することで、小規模な焼却炉での排熱利用発電が可能です。またスペースの確保ができれば複数台設置することもできます。
直接スターリングエンジンを熱源に設置するため、他の発電方式のように蒸気や温水に変えるための熱交換器が不要であり、付帯工事も簡易にできます。

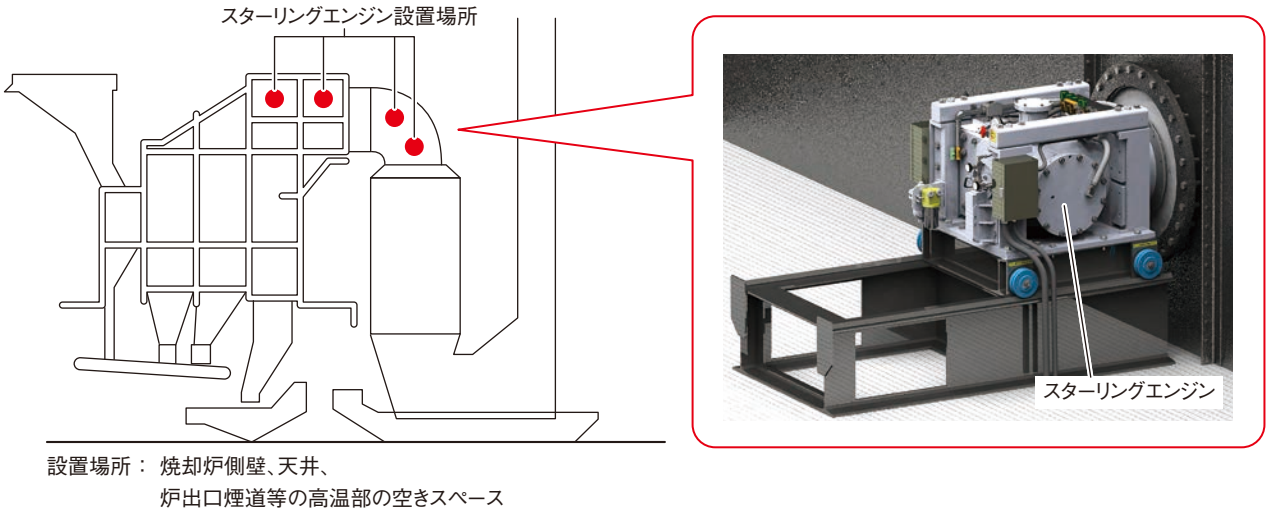


図５　自治体ごみ焼却場

■木質バイオマスボイラー（ペレット、チップ、丸木）

バイオマスボイラーの燃焼室に取付穴を開け、スターリングエンジンを設置することで簡単に発電付き高機能ボイラーとなります。
ボイラーの冷却水配管を分岐することで付帯工事も簡易にできます。

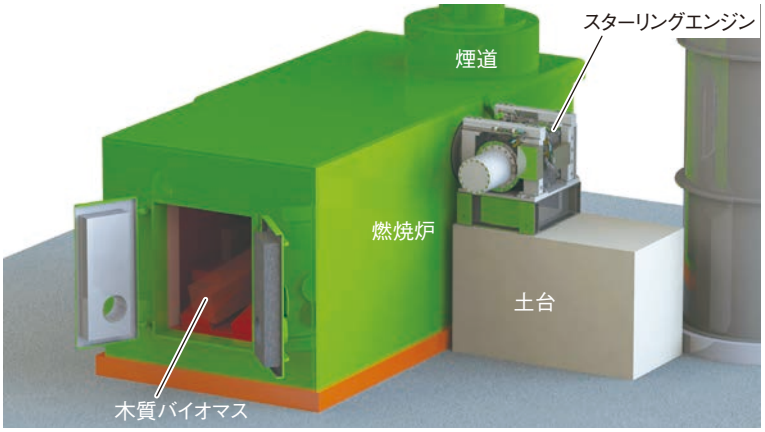


図６　木質バイオマスボイラー

■産廃焼却装置（乾留ガス化炉等）

乾留ガス化炉とスターリングエンジンを組み合わせることで焼却時に発生する排熱の有効利用が可能となり、効率のよい発電ができます。

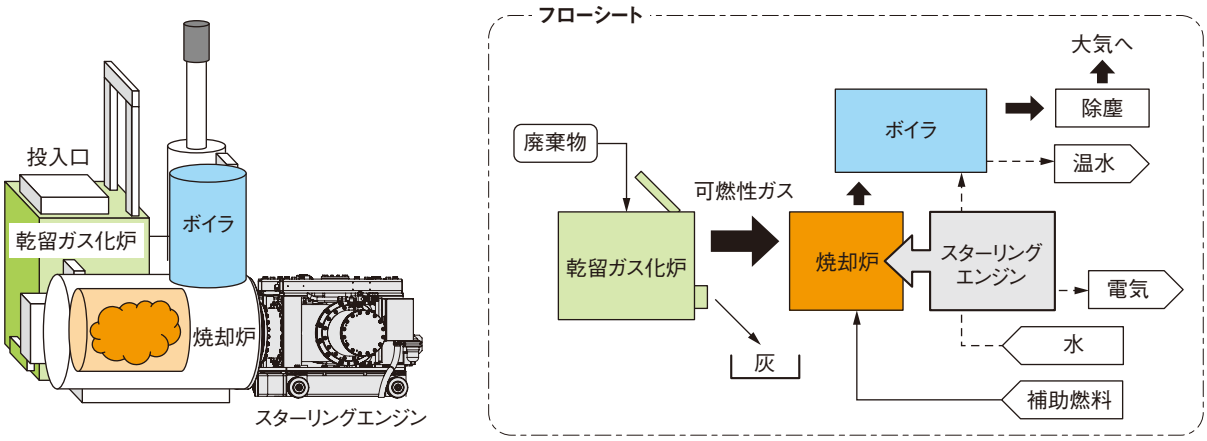


図７　産廃焼却装置

■工業炉（窯業炉、焼成炉、溶解炉、熱処理炉等）

工業炉の冷却帯や排ガス煙道にスターリングエンジンを設置し、工業用水などの冷却水をクーラ部に供給することで、今まで排ガスとして捨てられていた排熱を利用した発電機能を有する工業炉が実現できます。

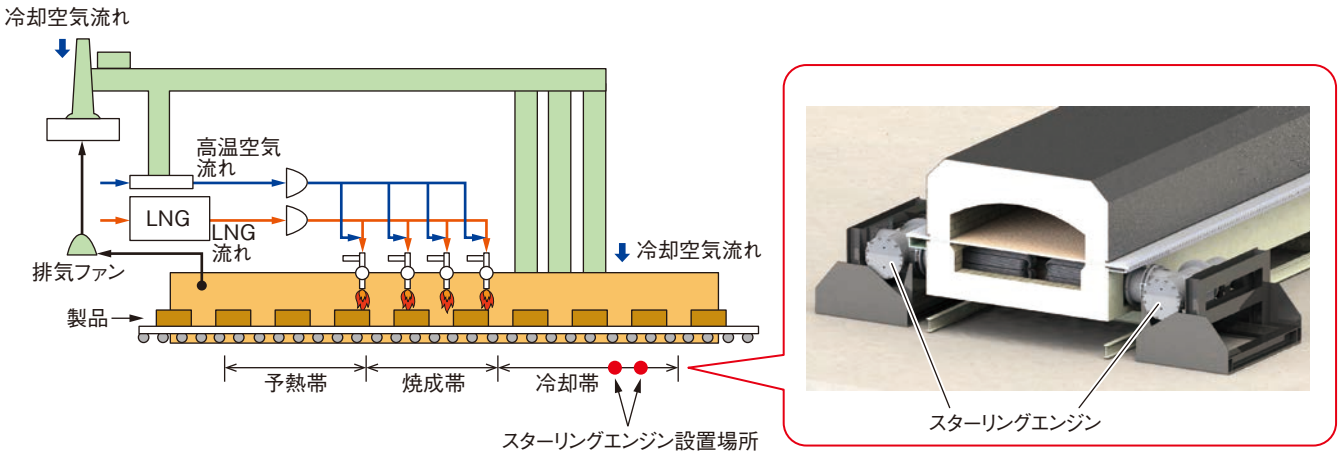
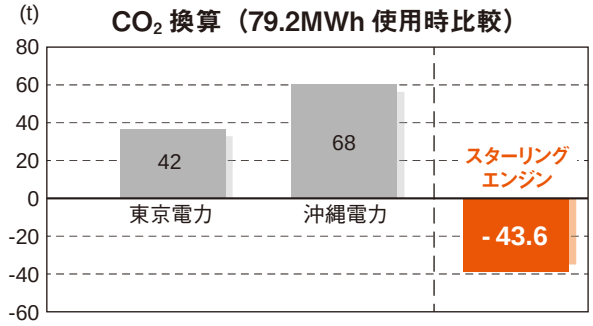
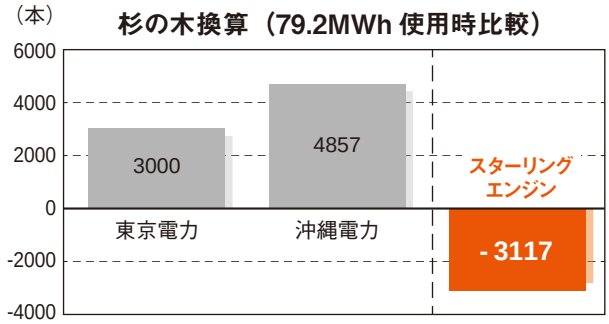


図８　ローラ・ハース・キルン窯業炉による窯業製造プロセス

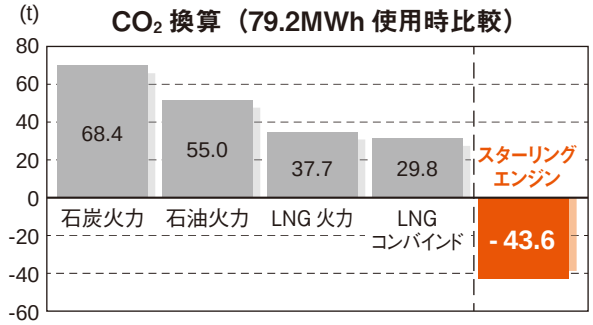
環境性

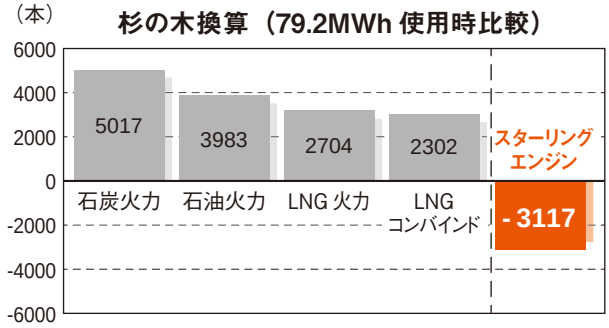
- 未利用熱エネルギーを使って発電するスターリングエンジンは二酸化炭素（CO_2）を全く排出しません。
- スターリングエンジン 1 台の発電量を、CO_2 換算すると東京電力では 42 t、沖縄電力では 68 t に相当します。
- スターリングエンジン 1 台導入することで、年間 43.6 t の二酸化炭素（CO_2）の排出量に相当する熱エネルギーを回収します。（CO_2 排出係数：電気事業者代替値）





- 火力発電の場合は、発電に使った熱エネルギーを全て電力に変えることはできず、半分以上が利用されず捨てられており、地球温暖化の原因である二酸化炭素（CO_2）を大量に排出しています。業種別では、化学・鉄鋼・機械・清掃（工場）・紙パルプなどの業種の排熱が多いのが現状です。





■スターリングエンジン 1 台導入による CO_2 排出削減効果［試算］

条件

スターリングエンジン年間運転時間　：8000 時間　発電出力：9.9kW　発電量 8000H × 9.9kW ＝ 79.2MWh

CO_2 排出係数	電気事業者代替値	：0.000500 t-CO_2/kWh	環境省発表（2018 年 12 月 27 日資料）
	東京電力	：0.000496 t-CO_2/kWh	
	沖縄電力	：0.000759 t-CO_2/kWh	
	石炭	：0.000864 t-CO_2/kWh	電気事業連合会（2015 年資料）
	石油	：0.000695 t-CO_2/kWh	
	LNG	：0.000476 t-CO_2/kWh	
	LNG コンバインド	：0.000376 t-CO_2/kWh	
杉の木 1 本あたりの年間 CO_2 吸収量		：14kg（林野庁算出）	

発電システムの電気配線系統図

エンジンの回転運動を発電機で電気エネルギーに変換し、発電機制御用ドライバで直流化し、更にパワーコンディショナにて３相 AC200V に変換後、施設側に系統連系します。
熱源の状態を検出し、エンジンの起動・発電・停止および熱量に適した発電量を制御コントローラにて自動制御しています。

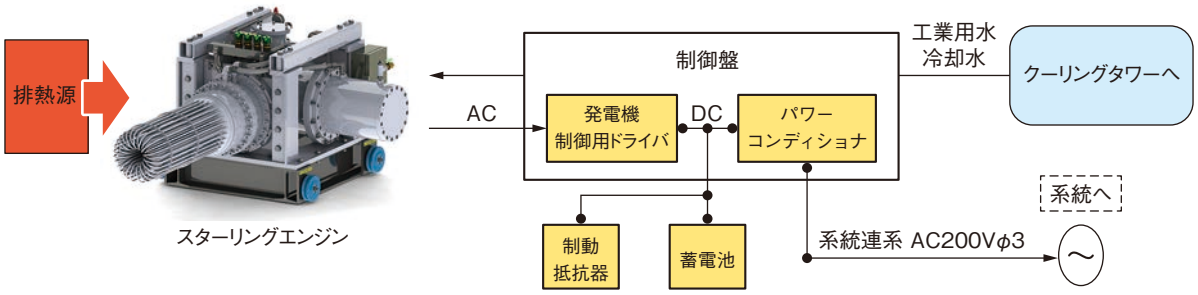


図９　発電システムの概要

■本体・オプション品

制動抵抗器	発電電力を抵抗器にて消費します。 ※停電時に発電電力が系統で消費できない場合、発電電力を自己消費します。
蓄電池	停電時の起動用電源として供給します。 ※制動抵抗器に流れる余剰電力を充電します。
タッチパネルの増設	制御盤から離れた場所での操作・監視ができます。 ※監視室・制御室への設置が可能です。

※その他、オプション品の詳細につきましては、お問合せください。

スターリングエンジン発電設備導入に必要な諸手続き

- 他に発電設備（注1）がない場合は、10 kW スターリングエンジン 5 台（総発電量 50 kW 未満）まで、電気事業法による届出なしに導入することができます。
- 施工（工事着工）前に、系統連系の届出が必要です。

（注 1）他の発電設備：太陽光　風力　水力等の発電設備（電気事業法施行規則第 48 条）

●：必ず届出が必要　○：条件により届出が必要　ー：届出不要

法　令	届出書類等	10kW 未満	50kW 以上	届出（申請）時期	備考
電気事業法 電気事業法施行規則	工事計画書 / 使用前自主検査要領書	ー	●		
	保安規定（変更）届出	ー	●		
	ボイラー・タービン主任技術者選任届	ー	●		
	電気主任技術者選任届	ー	●		
電技解釈（注2） 電力品質確保に係わる系統連系技術要件ガイドライン	系統連系照会書 系統連系申込書	●	●	工事着工前	所轄の電力会社へ提出
各種補助金申請	公募申請書	○	○	各公募事業者にご確認ください。	

（注 2）電技解釈：「電気設備の技術基準の解釈」経済産業省大臣官房技術統括保安審議官（2018 年 10 月改正）

ヤンマー e スター株式会社

〒 521-0016

滋賀県米原市下多良 1 丁目 113 番地 3

TEL:0749-53-3740　FAX:0749-53-3742

ホームページ：https://www.yanmar.com/jp/about/company/e-stir/

このカタログは、2021 年 7 月現在のものです。

記載されています、数値、内容等変更になる場合がありますので、ご不明な点はお問合せください。

20210001